

Avgitt mai 2024

RAPPORT LUFTFART 2024/04

***Luftfartshendelse i Bergen 26. august
2022 med DJI Mavic 3 drone,
LN-02023CM, operert av TV 2 Luftfoto***



This report is also available in English

Statens havarikommisjon (SHK) har utarbeidet denne rapporten utelukkende i den hensikt å forbedre flysikkerheten.

Formålet med Havarikommisjonens undersøkelser er å klarlegge hendelsesforløp og årsaksfaktorer, utrede forhold som antas å ha betydning for forebyggelsen av ulykker og alvorlige hendelser, og fremme eventuelle sikkerhetstilrådinge. Det er ikke Havarikommisjonens oppgave å ta stilling til sivilrettslig eller strafferettslig skyld og ansvar.

Bruk av denne rapporten til annet enn forebyggende flysikkerhetsarbeid skal unngås.

Innholdsfortegnelse

MELDING OM HENDELSEN	4
SAMMENDRAG	5
OM UNDERSØKELSEN	6
1. FAKTISKE OPPLYSNINGER	8
1.1 Hendelsesforløp.....	8
1.2 Personskader.....	9
1.3 Skader på luftfartøy.....	9
1.4 Andre skader.....	9
1.5 Personellinformasjon.....	9
1.6 Luftfartøy.....	10
1.7 Været.....	14
1.8 Navigasjonshjelpemidler	16
1.9 Samband	16
1.10 Flyplasser og hjelpemidler.....	16
1.11 Flyregistratorer.....	16
1.12 Havaristedet og flyvraket.....	20
1.13 Medisinske og patologiske forhold	22
1.14 Brann	22
1.15 Overlevelsesaspekter.....	22
1.16 Spesielle undersøkelser	22
1.17 Organisasjon og ledelse.....	24
1.18 Andre opplysninger	25
1.19 Nyttige eller effektive undersøkelsesmetoder	29
2. ANALYSE	31
2.1 Innledning	31
2.2 Vindretning og styrke	31
2.3 Dataintegritet fra flightrecord	31
2.4 Vurdering av hendelsesforløpet	32
2.5 Mulige årsaker til tap av kontroll.....	33
2.6 Manglende informasjon fra DJI	36
2.7 Sikkerhet ved bruk av droner	36
2.8 Reaksjoner etter ulykken.....	37
2.9 Rapporter om dronefeil	37
2.10 Samsvar med kravene til flygning i A2.....	37
3. KONKLUSJON	39
3.1 Hovedkonklusjon.....	39
3.2 Undersøkelsesresultater	39
4. SIKKERHETSTILRÅDINGER	41
FORKORTELSER	44
VEDLEGG	45

Rapport om luftfartshendelse

Tabell 1: Hendelsesdata

Luftfartøy:	DJI Mavic 3 drone
Nasjonalitet og registrering:	Norsk, LN-0203CM
Eier:	TV 2 Luftfoto
Bruker:	TV 2 Luftfoto
Personskader:	En person ble lettere skadet
Materielle skader:	Knust vindu i bygning og ødelagt drone
Hendelsessted:	Bryggen i Bergen
Hendelsestidspunkt:	26. august 2022, klokken 1143

Alle tidsangivelser i denne rapport er lokal tid (UTC + 2 timer) hvis ikke annet er angitt.

Melding om hendelsen

Havarikommisjonen ble varslet fra ansvarlig leder i TV 2 Luftfoto 26. august 2022 kl. 1220 om at en av deres dronepiloter hadde mistet kontroll over sin drone, og at den hadde flydd gjennom et vindu i et av byggene på Bryggen i Bergen.

Sammendrag

Hendelsen skjedde da TV 2 Luftfoto trente på droneflygning før en planlagt dokumentasjon av en triatlonkonkurranse med utgangspunkt fra Bryggen i Bergen.

Kort tid etter avgang fredag 26. august 2022 mistet piloten kontrollen over sin DJI Mavic 3 drone. Dronen med registreringsnummer LN-0203CM sluttet å respondere på styrekommandoer fra dronepiloten. Den fløy i stor hastighet mot en bygning der den gikk gjennom et vindu i fjerde etasje. En person som befant seg i rommet ble lettere skadet. Det har ikke vært mulig å finne svar på hvorfor piloten mistet kontrollen over dronen, men det fremstår å være koblet til overgangen mellom *ATTI mode* og *Tripod mode* med for lavt GPS nivå.

Denne dronen ble operert i åpen kategori. Det betyr at dronen skal opereres der det er liten risiko for skade på personer på bakken eller andre luftfartøy. En risikovurdering gjort før flygning er ikke nødvendigvis gyldig når piloten mister kontroll over dronen. I dette tilfellet er tap av kontroll den mest sannsynlige forklaringen. Klare indikasjoner på teknisk feil og det faktum at piloten var profesjonell, med lang erfaring med droneflygning, gjorde at Havarikommisjonen startet en undersøkelse selv om dette ikke var en lovpålagt undersøkelse og selv om kravene for flygningen i åpen kategori – A2 ikke var tilfredsstillt.

Havarikommisjonen har drøftet flere mulige scenarioer som kan føre til at en drone slutter å respondere på styrekommandoer fra dronepiloten. Dette inkluderte blokkering av signal mellom drone og fjernkontroll. Det mest sannsynlige scenarioet er at denne hendelsen skjedde fordi en funksjon i dronen utilsiktet overtok kontroll over flygningen.

Etter ulykken har Havarikommisjonen hatt utfordringer med å få hjelp fra produsenten, DJI, til å dekryptere og analysere flygeloggen, samt å svare på tekniske spørsmål. DJI har svart på spørsmål, men fortsatt står flere spørsmål ubesvart. Først etter ti måneder fikk SHK DJI sin analyse av hendelsesforløpet. Havarikommisjonen er også kjent med to andre undersøkelser der undersøkelsesmyndighetene i hhv. England og Nederland har hatt utfordringer med å få informasjon fra produsenten DJI. Etter disse undersøkelsene ble det gitt to sikkerhetstilrådinge til produsenten om å bedre sine rutiner for samarbeid med havarikommisjoner.

Undersøkelsen har avdekket at det ikke er noen myndighet som har mandat til å pålegge en produsent av droner tilgjengeliggjort på det Europeiske markedet med en CE-deklarasjon, til å støtte en undersøkelse. Gitt at havarikommisjoner ikke får dekket sitt behov for informasjon viser undersøkelsen at heller ingen annen myndighet kan utføre en detaljert teknisk gjennomgang av DJI ubemannede systemer.

Havarikommisjonen fremmer tre sikkerhetstilrådinge i forbindelse med undersøkelsen. SHK tilrår EU-kommisjonen å etterse at DJI har en prosess der undersøkelsesmyndigheter får tilgang på nødvendig informasjon, og i den andre gjennomgå DJI sine droner for å se om de innehar et nødvendig sikkerhetsnivå. Det gis også en sikkerhetstilråding til Luftfartstilsynet der de bes om å informere brukere i Norge om designsvakheter ved DJI Mavic 3 når det går ut av *ATTI¹ mode*.

¹ «ATTI mode» er en forkortelse for «Attitude» mode som betyr at dronen beholder sin orientering i luften, men stabiliseringsalgoritmen holder ikke dronen på samme sted. Dronen vil dermed «flyte» med vinden både i vertikal og horisontalplanet.

Om undersøkelsen

Formål og metode

Hensikten med undersøkelsen har vært å klarlegge hva som førte til at piloten mistet kontroll over dronen. Videre har Havarikommisjonen utredet hva som kan bidra til å øke sikkerheten og forhindre lignende hendelser og skadeomfang i fremtiden.

Hendelsen er undersøkt i tråd med Havarikommisjonens sikkerhetsfaglige rammeverk og analyseprosess for systematiske undersøkelser (NSIA-metoden²).

Informasjonskilder

- Data fra dronen, samt data fra andre droner.
- Intervjuer med dronepilot og operativ leder for TV 2 Luftfoto.
- TV 2 Luftfoto operasjonsmanual (OM).
- Informasjon og analyse av flygeloggen fra DJI.

Undersøkelserapporten

Rapportens første del, faktiske opplysninger, beskriver hendelsesforløpet, tilhørende data og informasjon som er innhentet i forbindelse med hendelsen, samt Havarikommisjonens undersøkelser og tilhørende funn.

Andre del av rapporten, analyse, omhandler Havarikommisjonens vurderinger av hendelsesforløpet og medvirkende faktorer basert på faktiske opplysninger og gjennomførte undersøkelser. Omstendigheter og faktorer som er funnet å være mindre relevant for å forklare og forstå ulykken drøftes ikke.

Rapporten avsluttes med Havarikommisjonens konklusjoner og sikkerhetstilrådinger.

² Se <https://havarikommisjonen.no/Om-oss/Metodikk>

1. Faktiske opplysninger

1.1 Hendelsesforløp	8
1.2 Personskader	9
1.3 Skader på luftfartøy	9
1.4 Andre skader	9
1.5 Personellinformasjon	9
1.6 Luftfartøy	10
1.7 Været	14
1.8 Navigasjonshjelpemidler	16
1.9 Samband	16
1.10 Flyplasser og hjelpemidler	16
1.11 Flyregistratorer	16
1.12 Havaristedet og flyvraket	20
1.13 Medisinske og patologiske forhold	22
1.14 Brann	22
1.15 Overlevelsesaspekter	22
1.16 Spesielle undersøkelser	22
1.17 Organisasjon og ledelse	24
1.18 Andre opplysninger	25
1.19 Nyttige eller effektive undersøkelsesmetoder	29

1. Faktiske opplysninger

1.1 Hendelsesforløp

Dronepiloten var ansatt som fotograf i TV 2 og var dronepilot i TV 2 Luftfoto. Det skulle arrangeres World Triathlon Cup Bergen 2022 og TV 2 Luftfoto hadde fått henvendelse fra TV 2 om å filme svømmingen. Svømmingen skjedde ved Bryggen i Bergen.

Dronepiloten og operativ leder i TV 2 Luftfoto skulle utføre flygningen der de skulle strømme bilder direkte fra droner. Dronepiloten godtok oppdraget under forutsetning av at han fikk tid til å forberede seg grundig.

Tre dager før oppdraget testet dronepiloten en DJI Mavic 3 drone. Han fløy omtrent en time uten indikasjoner på noen feil under flygning. I denne tidsperioden benyttet han også muligheten til å skru av dronens antikollisjonssystem («Obstacle avoidance») for å erfare hvordan den responderte.

Dagen før oppdraget møttes dronepiloten, hans luftromsobservatør og operativ leder i TV 2 Luftfoto på Bryggen i Bergen for å planlegge hvor de burde ha dronen stående i luften under konkurransen. Operativ leder i TV 2 Luftfoto skulle filme fra en DJI Air2S drone. Luftromsobservatøren skulle stå i umiddelbar nærhet til dronepiloten. De ble enige om ikke å fly høyere enn 30 meter.

Som en del av forberedelsene til denne flygningen sjekket dronepiloten vær, vind og lokale hindringer. Ingen hindringer ble registrert, og antikollisjonssystemet ble slått av for å unngå forstyrrelser i bildet. Det var god sikt, sol og lite eller ingen vind.

Dronepiloten fløy ut mot Vågen for å skanne området for å se om ting hadde forandret seg i forhold til det han opplevde under forberedelsene to dager tidligere. Han estimerte at dronen var omtrent 10–15 meter utover vågen fra hans posisjon og i 10–15 meters høyde. Operativ leder tok deretter av med en DJI Air2S og la seg litt lavere og til venstre for dronepilotens Mavic 3.

Dronepiloten la da merke til at dronen begynte å bevege seg på fjernkontrollens skjerm og så derfor opp på dronen. Den beveget seg da sakte mot et bygg på Bryggen. Dronepiloten forsøkte å motvirke dronens bevegelser med stikkepådrag på fjernkontrollen. Dronen responderte ikke på stikkepådrag og han opplevde å ikke ha kontakt med dronen. Dronens fjernkontroll viste ingen indikasjon på feil med kommunikasjonen mellom fjernkontrollen og dronen. Dronepiloten har forklart at han så at hurtigbåten «Vingtor» kom inn og at flere båter i havnen hadde radar.

Han informerte operativ leder om at han hadde mistet kontakt med dronen. Dronen akselererte mot et bygg på Bryggen. Operativ leder hadde da ingen problemer med sin drone.

Dronen traff vinduet og gikk gjennom et vindu med trelagsglass før den endte på gulvet i et pauserom der folk spiste lunsj. Han løp opp til rommet og spurte om noen var skadet. En person hadde fått mindre kuttskader. Han ringte deretter til politiet og fikk låst av rommet.

I ettertid har dronepiloten fortalt at akselerasjonen minte han om noe dronen kan gjøre i *sport mode*. Dronepiloten forsøkte forgivevis å sette dronen i *tripod mode*³ men dronen reduserte ikke hastigheten. Han så at det var personer på gaten mellom dronens posisjon og bygget der dronen

³ Flymode beskrives i mer detalj i kapittel 1.6

var på vei og ville derfor ikke kutte motorene og risikere at dronen kunne skade personer på bakken. Funksjonen for å kutte kraft til motorene må settes opp før den kan benyttes.

Etter hendelsen satte TV 2 Luftfoto alle droner over 250 gram på bakken i påvente av undersøkelsen fra Havarikommisjonen.

1.2 Personskader

Tabell 2: Personskader. Kilde: SHK

Skader	Besetning	Passasjerer	Andre
Omkommet	Ikke relevant	Ikke relevant	0
Alvorlig	Ikke relevant	Ikke relevant	0
Lett/ingen	Ikke relevant	Ikke relevant	1

1.3 Skader på luftfartøy

Dronen fikk skader på fire propeller og en motorarm. Dronens kameraakse, kalt *gimbal*, løsnet fra sine fester.

1.4 Andre skader

Dronen knuste et vindu inn mot et pauserom i en bygning.

1.5 Personellinformasjon

Dronepiloten hadde først tatt eksamen som RO⁴-operatør og deretter A2 kurs med tilhørende eksamen. Han fløy drone så mye han hadde mulighet til, men det var utfordrende å få flydd så mange timer som kreves for vedlikehold av rettigheter i henhold til krav i TV 2 sin operasjonsmanual (OM). Av ulike grunner hadde han ikke fått flydd mer enn 5,5 timer i 2022.

Tabell 3: Flygetid dronepiloten. Kilde: SHK

Flygetid	Alle typer	Aktuell type
Siste 24 timer	00:00:00	00:00:00
Siste 3 dager	01:02:52	01:02:52
Siste 30 dager	01:54:24	00:00:00
Siste 90 dager	02:52:42	00:00:00
Totalt	33:12:00	01:02:52

⁴ Droneoperatør som fløy i henhold til tidligere regelverk.

1.6 Luftfartøy

1.6.1 GENERELT

DJI Mavic 3 er et ubemannet luftfartøy med fire motorer, hver med sin rotor. Luftfartøyet veier 895 gram og har en maks hastighet på 19 m/s (68 km/t). Dronen har sensorer som peker fremover, bakover, oppover og nedover og en infrarød sensor i buken. Alle sensorene kan detektere hindringer i flygebanen dersom antikollisjonssystemet er aktivert via «DJI fly» app på fjernkontrollen. Mavic 3 hadde en CE-deklarasjon og er kjent som en «legacy» drone. Den samme dronen med en nyere *firmware* tilfredsstiller kravene for C-merking.



Figur 1: DJI Mavic 3 drone. Foto: DJI/ SHK

Tabell 4: Dronens spesifikasjoner. Kilde: DJI/SHK

Registrering	LN-0203CM
Modellbetegnelse	DJI Mavic 3
Serienummer	1581F45TB21AQ1BE00TZ
Firmware	01.00.0500

Dronen kan flys i vind opp til 12 m/s (43 km/t). Dronen har et kamera festet på *gimbal*. I dronens spesifikasjon er *gimbal* oppgitt med en bevegelsesfrihet i forhold til dronen som vist i tabell 5.

Tabell 5: Gimbal bevegelsesfrihet. Kilde: DJI/SHK

Akse	Begrensning
Tilt	-135°, 100°
Roll	-45°, 45°
Pan	-27°, 27°

Dronen styres via en fjernkontroll, og dronepiloten kan velge mellom tre forskjellige modus, kalt *mode*; Normal (også kalt *P-GPS*), *Tripod* og *Sport*.

Dronen manøvreres ved å differensiere kraft fra de fire motorene. Den kan stige eller synke, svinge om sin egen akse til høyre eller venstre, fly til høyre eller venstre samt fly frem og tilbake.

I tillegg finnes en *ATTI mode* som automatisk entres dersom dronen mister tilstrekkelig satellitter til å kunne stabilisere flygningen.

1.6.2 FJERNKONTROLLEN

Piloten kan kontrollere dronen via en fjernkontroll med integrert skjerm, en såkalt smartkontroller. Spesifikasjonene på fjernkontrollen som ble benyttet vises i tabell 6.

Tabell 6: Fjernkontrollens spesifikasjoner

Type	DJI RC Pro
Modelbetegnelse	RM510
Serienummer	4QQZJAL0020J5J
Android	Versjon 11
DJI fly app	V 1.5.9
Firmware	03.01.0500

På fjernkontrollen har piloten, i tillegg til skjermen, styrespaker for påvirkning av dronens flygebane samt mulighet til å styre horisontal vinkel på kamerahodet og ta bilder eller video og initiere *Return to home*. Midt på fjernkontrollen, over skjermen finnes en skyveknapp som kan settes i «C», «N» eller «S» mode. Disse mode er beskrevet i mer detalj i kapittel 1.6.4 til kapittel 1.6.7.



Figur 2: DJI Smart controller: Foto: DJI/SHK

1.6.2.1 Styrespakene

Over fjernkontrollens skjerm finnes det to styrespaker, vist i figur 2. Hver styrespak kan bevegges fremover og bakover samt oppover og nedover.

Begge styrespakene er fjærbelastede slik at de er selvsentrerende. Det betyr at om piloten slipper en av styrespakene vil den automatisk gå i midtstilling.

Venstre styrespak kontrollerer dronens evne til å stige og synke samt bevegelse om vertikalaksen. Om venstre spak bevegges fremover eller bakover vil dronen stige eller synke og dette benevnes som *RC.throttle* i flygeloggen. Dersom venstre spak bevegges til høyre eller venstre vil dronen vri seg mot høyre eller venstre om sin vertikalakse. Dette benevnes som *RC.rudder* i flygeloggen.

Høyre styrespak kontrollerer dronens evne til å bevege seg frem og tilbake samt bevegelse om lengdeaksen. Om høyre spak bevegges frem eller tilbake vil dronen bevege seg fremover eller bakover. Dette benevnes som *RC.elevator* i flygeloggen. Dersom høyre spak bevegges til høyre

eller venstre vil dronen bevege seg til høyre eller venstre om lengdeaksen. Dette benevnes som *RC.aileron* i flygeloggen.

1.6.2.2 Advarsler

Dersom dronen registrerer avvik fra normal flygning, vil den gi advarsler på fjernkontrollens skjerm i *DJI fly* appen. Advarslene kan være visuelle på skjermen, men kan også opptre sammen med lydvarsel. Advarslene skal gi piloten informasjon om endret tilstand eller gi informasjon om hva piloten må gjøre.

1.6.3 OVERFØRING MELLOM DRONE OG FJERNKONTROLL

Dronen og fjernkontrollen kommuniserer med hverandre på to forskjellige frekvensbølger. Styrekommandoer sendes og mottas på frekvensbåndet 2,4 GHz mens video sendes på 5,8 GHz. I brukermanualen til dronen finnes en advarsel om operasjon av annet utstyr på samme frekvens som gjengitt nedenfor.

Do not use other wireless devices operating at the same frequency as the remote controller. Otherwise, the remote controller will experience interference.

1.6.4 NORMAL (P-GPS) MODE

Dronepiloten velger Normal (P-GPS) *mode* ved å skyve velgerbryteren på fjernkontrollen, se figur 2, slik at den peker mot «N». I flygeloggen benevnes denne *mode*-en som P-GPS⁵. Dronen benytter i denne *mode* satellittnavigasjon og sensorene som peker fremover, bakover, sideveis, opp og ned samt det infrarøde sensorsystemet for å bekrefte posisjon og stabilisere seg selv på et fast punkt. I dronens spesifikasjoner er følgende flygekarakteristikker gitt for *P-GPS mode*.

Tabell 7: Begrensninger i P-GPS mode. Kilde: DJI/SHK

Funksjon	Begrensning
Maks hastighet oppover/nedover	6 m/s
Maks hastighet i horisontal (uten vind)	15 m/s
Maks krenningsvinkel	30°

1.6.5 SPORT MODE

Dronepiloten velger denne *mode* ved å skyve velgerbryteren på fjernkontrollen slik at den peker mot «S». Dronen benytter i denne *mode* satellittnavigasjon for å bekrefte posisjon og stabilisere seg selv i luften. I denne *mode* virker ikke dronens antikollisjonssystem, og dronen har også høyere tillatt flyhastighet enn i *P-GPS mode*. I dronens spesifikasjoner er følgende flygekarakteristikker gitt for *Sport mode*.

⁵ Position GPS.

Tabell 8: Begrensninger i sportsmode. Kilde: DJI/SHK

Funksjon	Begrensning
Maks hastighet oppover/nedover	8/6 m/s
Maks hastighet i horisontalplanet (uten vind)	21 m/s
Maks kreningsvinkel	35°

1.6.6 TRIPOD MODE

Dronepiloten velger denne mode ved å skyve velgerbryteren på fjernkontrollen slik at den peker mot «C» (*tripod mode* blir også benevnt *Cinematic* og derav bokstaven C). Dronen benytter i denne *mode* samme sensorer som i *P-GPS mode*, men med andre hastighetsrestriksjoner i forhold til *P-GPS mode*. I dronens spesifikasjoner er følgende flygekarakteristikk gitt for *tripod mode*.

Tabell 9: Begrensninger i tripod mode. Kilde: DJI/SHK

Funksjon	Begrensning
Maks hastighet oppover/nedover	1/5 m/s
Maks hastighet i horisontalplanet (uten vind)	5 m/s
Maks kreningsvinkel	25°

1.6.7 ATTI MODE

ATTI er den eneste *mode* som dronepiloten ikke manuelt kan velge⁶. Dronen går automatisk inn i denne *mode* dersom dronen mister GPS-dekning under flygning. *ATTI mode* er en forkortelse for *Attitude mode* som betyr at dronen beholder sin orientering i luften, men stabiliseringsalgoritmen holder ikke dronen på samme sted. Dronen vil dermed «flyte» med vinden både i vertikal- og horisontalplanet. Under vises utklipp fra manualen som omhandler *ATTI mode*.

The aircraft automatically changes to Attitude (ATT) mode when the Vision systems are unavailable or disabled and when the GNSS signal is weak or the compass experiences interference. In ATTI mode, the aircraft may be more easily affected by its surroundings. Environmental factors such as wind can result in horizontal shifting, which may present hazards, especially when flying in confined spaces.

1.6.8 SIKKERHETSFUNKSJONER I DJI FLY APP

I *DJI fly* appen på dronens fjernkontroll kan dronepiloten sette opp noen sikkerhetsfunksjoner før avgang. Det dreier seg om *Obstacle avoidance* og *Return to home*.

Antikollisjonssystemet benytter dronens sensorer til å detektere hindringer og aktivt hindre dronepiloten fra å fly inn i disse. For denne flygningen var denne funksjonen ikke aktivert som betyr at dronen ikke forsøker å unngå hindringer.

Failsafe Return to home (RTH) er en funksjon som styre hvordan dronen vil reagere dersom den mister kontakt med fjernkontrollen. Funksjonen kan settes opp til at dronen skal gå til hjempunktet, lande eller stå i ro i luften. For denne flygningen var funksjonen satt til å returnere til hjempunktet i

⁶ Enkelte andre DJI droner, som f.eks Phantom 4, kan settes inn i ATTI mode av dronepiloten.

100 meters høyde. Høyden som settes på *Return to home* må sees i sammenheng med høyden på lokale hindringer der man skal fly. Høydegrensen på 120 meter som maksimal høyde for droneflygning er uansett gjeldende.

1.6.9 STABILISERINGSALGORITME

I *mode-ene P-GPS, Tripod* og *Sport* vil dronens stabiliseringsalgoritme klare å holde dronen stående på en posisjon i luften. Dersom det kommer vind mens dronen står i ro vil stabiliseringsalgoritmen påtrykke kraft til motorene for å motvirke påvirkningen av vinden. Dronen vil kompensere så lenge den har motorkraft til å holde seg i en posisjon. Dersom dronen registrerer avvik som dronepiloten må vite om gis det advarsler på fjernkontrollens skjerm. Dersom dronen ikke har tilstrekkelig med satellitter til å kunne beregne egen GPS-posisjon med tilstrekkelig nøyaktighet vil dronen endre mode-en den er i og gå inn i *ATTI mode*.

1.6.10 RETNINGSSENSORER

Dronen har en *gimbal*, som kan beveges med noe frihet i forhold til dronen selv. Dette betyr at både dronen og *gimbal* har sensorer som detekterer sin orientering.

1.6.11 MAVIC 3 CE-DEKLARASJON

EU-kommisjonen utgir direktiver med krav som et produkt må oppfylle før det kan plasseres i det europeiske markedet. Et produkt må oppfylle alle krav fra alle relevante EU-direktiv før produksjonsselskapet kan lage en egendeklarasjon, kjent som CE-deklarasjon.

DJI Mavic 3 dronen ble plassert i det europeiske markedet med en CE-deklarasjon som angir oppfyllelse av krav fra følgende direktiv:

- Radio Equipment Directive (RED) EU 2014/53
- Restriction of Hazardous Substances (RoHS) EU 2015/863
- Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE) EU 2012/19
- Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH) EC 2006/1907

En Mavic 3 med *firmware* 01.00.900 eller senere har fått et C1 sertifikat utstedt av Tüv Rheinland, Tyskland, i henhold til kravene i i Kommisjonsforordning (EU) 2019/945 av 12. mars 2019 om ubemannede luftfartøysystemer og om operatører av ubemannede luftfartøy fra tredjeland. Denne dronen hadde *firmware* versjon 01.00.0500 og hadde dermed ikke en «C1 compliant firmware».

1.7 Været

1.7.1 VÆRRAPPORT FRA METEOROLOGISK INSTITUTT

Havarikommisjonen har bedt Meteorologisk institutt om å utarbeide en utvidet værrapport.

Observasjoner tyder på relativt rolege vindtilhøve i det aktuelle tidsrommet. Vindretning vest-nordvest, og låg vindstyrke under 6 m/s. I høgda (Liatårnet på Sotra) har vinden heller ikke vore meir enn 6 knop.

Høgaste vindkast mellom kl. 11-12: 6 m/s

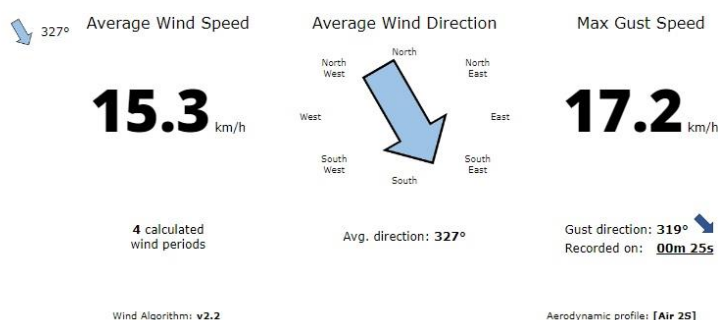
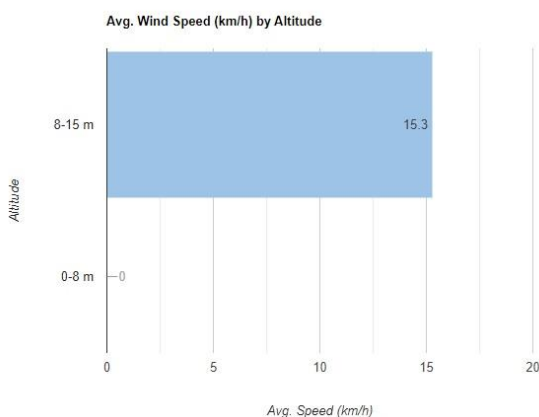
Vindretning til høgaste middelvind kl. 11-12: 336 grader (NV)

1.7.2 DRONEREGISTRERTE VÆRDATA

Operativ leder fløy med sin DJI Air2S drone på samme tid som dronepiloten. Vinndata fra DJI Air2S ble benyttet ved undersøkelsen fordi Mavic 3 ikke registrerte et tilstrekkelig antall datapunkter før den havarerte.



Figur 3: Vindberegning basert på data fra Mavic Air 2S drone i samme område i aktuelt tidsrom.
Kilde: TV 2/SHK



Figur 4: Registrert vindstyrke i høyden fra DJI Air2S.
Kilde: TV 2/SHK

Figur 5: registrert vindstyrke og retning fra DJI Air2S
Kilde: TV 2/SHK

1.7.3 RAPPORT FRA KARTVERKET

Havarikommisjonen har bedt Kartverket vurdere om det var romvær-forstyrrelser i området som kunne påvirke GPS-signaler. De henviser til at datakilden «Kp»-indeks som gjelder for hele jorden er en god indikasjon. En Kp -verdi på fem ble regnet som *Minor Geomagnetic Storm*. Den aktuelle dagen var det kun registrert verdier under en på hendelsestidspunktet. Det var heller ingen andre indikasjoner på annet enn normale forhold.

1.8 Navigasjonshjelpemidler

Droneflygningen med LN-0203CM ble gjennomført etter de visuelle flygereglene (Visual Line of Sight) for droner. Navigasjonsutstyr var derfor hverken påkrevd eller benyttet.

1.9 Samband

Dronepiloten hadde ikke flyradio og dette er heller ikke påbudt ved VLOS flygning.

1.10 Flyplasser og hjelpemidler

Ikke relevant.

1.11 Flyregistratorer

Dronen er utstyrt med flere forskjellige typer registratorer både om bord på dronen, på fjernkontrollen og i *DJI Fly*-appen.

1.11.1 DATAFIL FRA DRONEN

Det lagres en datafil (.DAT) på dronen for hver gang dronen startes opp. Denne filen inneholder en mengde variabler. Datafilen for den aktuelle flygningen var ikke til stede i dronen da Havarikommisjonen mottok den. Havarikommisjonen fikk tilsendt en eksportfil fra DJI Assistant, som TV 2 Luftfoto benytter for å laste opp flygelogger, men har ikke vært i stand til å finne DAT-filen for den aktuelle flygningen.

1.11.2 REGISTRERINGER FRA DEN AKTUELLE FLYGNINGEN

Hver gang det startes en flygning med en drone og tilhørende fjernkontroll vil det skapes og skrives til en flightrecord, heretter kalt flygeloggen, i fjernkontrollens app. Filen vil ha navn i henhold til

følgende format: «DJIFlightRecord_År_Måned_dag_[tid].txt». Den lagres på fjernkontrollens filsystem og kan eksporteres fra fjernkontrollen. Denne filen kan hentes ut fra en smartkontroller eller det nettbrettet eller den telefonen som ble brukt til å styre dronen. Filen kan deretter kopieres over på et minnekort og eksporteres for videre dekryptering og analyse.

Filen som er hentet ut er kryptert og kan dermed ikke leses i klartekst uten først å dekrypteres. Havarikommisjonen har benyttet programmet Flight Reader for dekryptering, men er også kjent med at det finnes andre gratis kilder som også kan gjøre denne jobben. Filen som blir generert av Flight Reader er en csv-fil⁷ som kan inneholde maksimalt 168 datafelter for hvert tidspunkt i loggen. Datafeltene er inndelt i kategoriene nedenfor, med antall datafelter i hver kategori i parentes. *custom* (2), *osd* (52), *gimbal* (9), *camera* (5), *rc* (17), *battery* (32), *mc* (1), *home* (22), *recover* (7), *details* (15), *apppgps* (3) og *app* (3). Flight Reader dekrypterer flygeloggen og presenterer data. Havarikommisjonen har vært i kontakt med utvikler av «Flight Reader» som bekrefter at programmet kun leser ut tilgjengelige data, og ikke gjør endringer i verdier.

De datafeltene som har vært benyttet i analysen av flygeloggen beskrives mer detaljert i Vedlegg A.

Flygeloggen viser at denne flygningen var innom flere mode-er, blant annet Normal (*P-GPS*).

Tabell 10 viser hvilke tilstander som ble benyttet, og i hvilken tidsperiode dronen var i de forskjellige tilstandene. Tabellen viser både UTC-tid og en tidslinje som starter ved første datapunkt. Data fra flygeloggen er grafisk presentert i Vedlegg C. For eksempel vises hastigheten for hele flygningen. I dette kapittelet deles innholdet i flygeloggen inn i de *mode* som flygningen var utført i. Dette er nødvendig fordi forskjellige *mode* kan ha forskjellige restriksjoner eller muligheter som beskrevet i kapittel 1.6. Det er dermed ikke tilstrekkelig å se data for hele flygningen uten å vite hvilken *mode* de oppstod i.

Tabell 10: Oversikt over flygningens mode-er. Kilde: SHK

Mode	Start [lokal tid]	Start tidslinje	Slutt [lokal tid]	Slutt tidslinje
Starting motors	9:43:12,69 AM	0 m 0,1 s	9:43:14,11 AM	0 m 1,5 s
Manual takeoff	9:43:14,21 AM	0 m 1,7 s	9:43:23,54 AM	0 m 11,1 s
P-GPS	9:43:23,74 AM	0 m 11,3 s	9:43:34,85 AM	0 m 22,3 s
ATTI	9:43:35,05 AM	0 m 22,5 s	9:44:00,17 AM	0 m 47,7 s
Tripod	9:44:00,46 AM	0 m 47,9 s	10:42:13,72 AM	0 m 53,7 s

Data fra flygeloggen vises i sin helhet i Vedlegg B og er grafisk illustrert i Vedlegg C. I hver *mode* vil det etableres en tidslinje der datapunkter omkring GPS, kompassavvik, hvilke stikkebevegelser som ble registrert påført, hvilken høyde dronen hadde og hvilket strømtrekk den har registrert, vises.

1.11.3 REGISTYRINGER FRA TIDLIGERE FLYGNINGER

Havarikommisjonen har fått tilgang til flygelogger fra 28 tidligere flygninger med den aktuelle dronen før ulykkesturen. Disse har blitt gjennomgått for å kunne lage en oversikt over tidligere flygninger der dronen hadde gått over i *ATTI mode*. Dette skjedde ved en tidligere flygning hvor dronen hadde kobling mot 7 satellitter, men med GPS-nivå på 0. Den gikk da over i *ATTI mode*

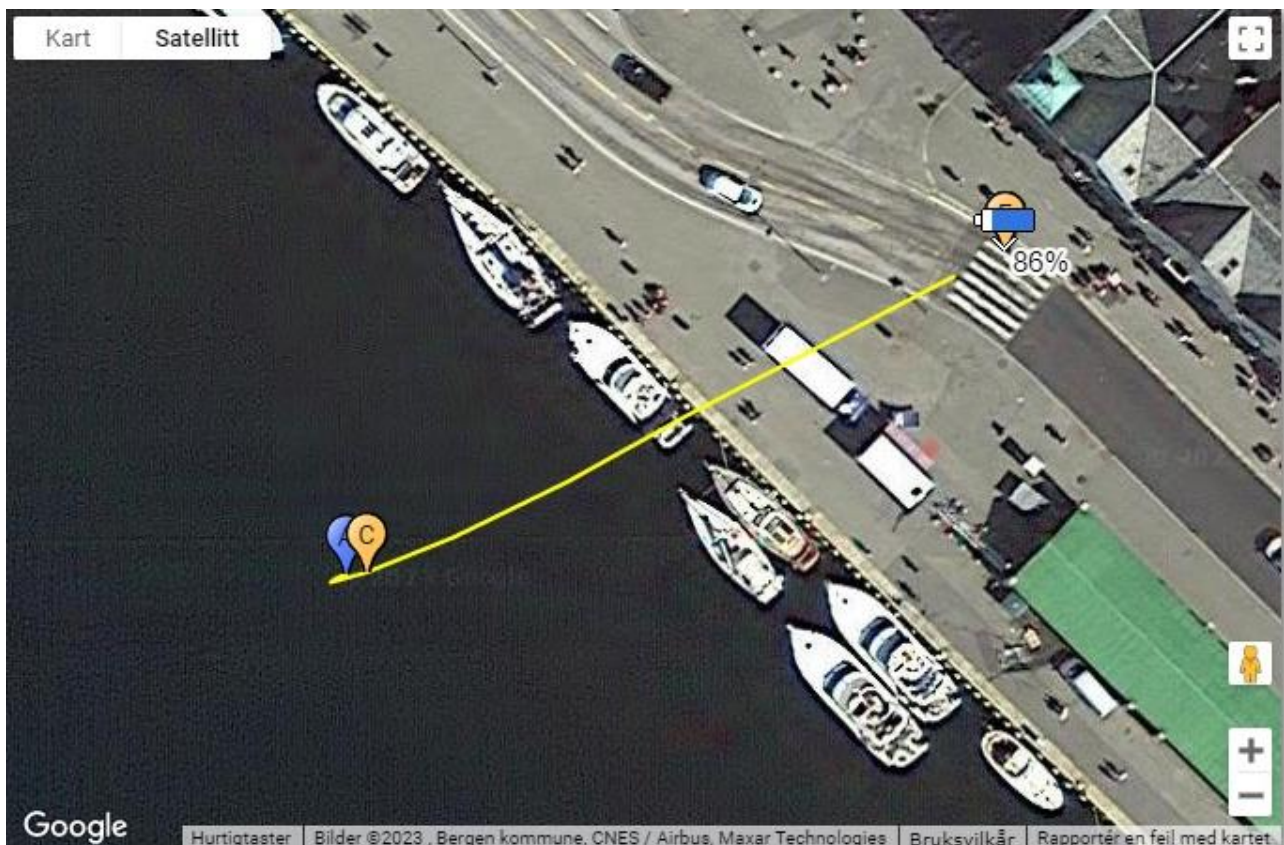
⁷ Comma separated values

hvor den var i 28,6 sekunder. I det etterfølgende datapunktet etter 28,8 sekunder registreres det kobling mot 10 satellitter og dronen går over i *sport mode*. GPS-nivå er fortsatt 0.

1.11.4 DATA FRA AIRDATA

Droneoperatøren TV 2 Luftfoto benyttet Airdata⁸ for lagring av loggede data fra alle deres droneflygninger. Havarikommisjonen har fått tilgang til Airdata-lenker for ulykkesturen og andre relevante flygninger med samme drone og viser her aktuelle skjermdump fra programmet. I tillegg til å vise telemetridata fra dronen kan Airdata beregne vindretning og vindstyrke.

Figur 6 viser flygebanen for den aktuelle hendelsen som den var registrert i Airdata. Merk at en flygebane kun illustreres med strek, i dette tilfellet gul, dersom dronen har tilgang til tilstrekkelig satellitter for å kunne beregne GPS-posisjon.

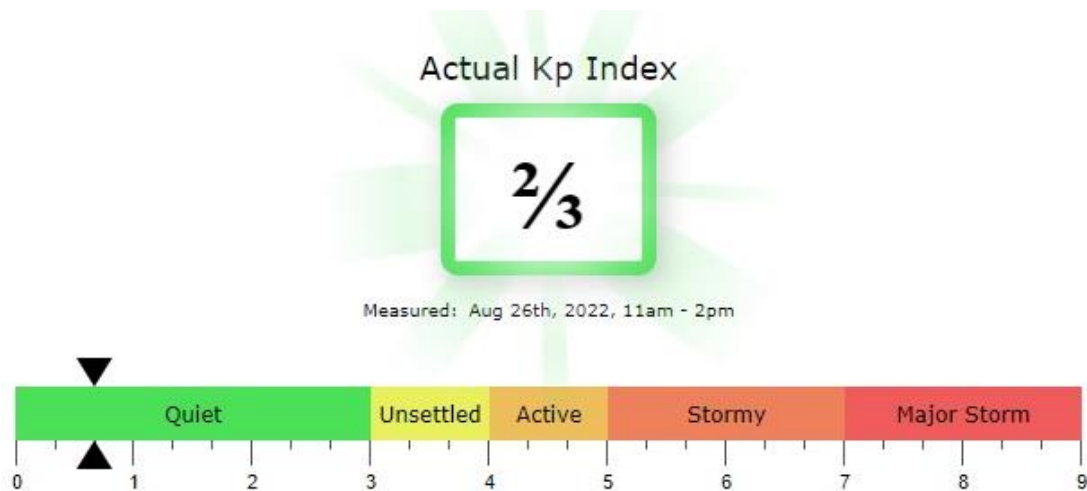


Figur 6: Flygebane for den aktuelle flygningen. Kilde: TV 2/SHK

⁸ Nettbasert løsning for å laste opp logg etter en avsluttet droneflygning.

Flight time	Altitude	Home Dist	Type	Notification
00m 00s	0.0 m	0 km	Mode	Mode changed to Motors Started
00m 00s	0.0 m	0 km	Low Risk	⚠️ <u>GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30m (Code: 30014).</u> Check whether the propellers are attached to the correct motors based on their markings. Incorrect installation will cause the aircraft to roll over
00m 00s	0.0 m	0 km	Tip	✓ <u>Setting new Return-To-Home altitude to 100m (328 ft).</u> ✓ <u>Data Recorder File Index is 53.</u> ✓ <u>Setting new Maximum Flight Altitude to 30m (98 ft)</u>
00m 01s	0.0 m	0 km	Low Risk	⚠️ <u>GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30m (Code: 30014)</u>
00m 01s	0.0 m	0 km	Mode	Mode changed to Assisted Takeoff
00m 11s	0.0 m	0 km	Mode	Mode changed to P-GPS
00m 22s	25.0 m	0 km	Mode	Mode changed to Atti
00m 22s	25.0 m	0 km	Tip	Attitude mode (Max altitude 30m)
00m 22s	25.0 m	0 km	Low Risk	⚠️ <u>Aircraft in Attitude mode. Unable to hover. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30m (Code: 30016).</u> GPS signal weak. Switched to Attitude mode. Aircraft unable to hover. Fly with caution (Code: 30022)
00m 22s	25.7 m	0 km	Low Risk	Compass or GPS signal weak. Changed to Attitude mode (Code: 30020). ⚠️ <u>Aircraft in Attitude mode. Unable to hover. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30m (Code: 30016)</u>
00m 47s	26.8 m	0 km	Low Risk	⚠️ <u>Aircraft in Attitude mode. Unable to hover. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30m (Code: 30016)</u>
00m 47s	26.8 m	0 km	Mode	Mode changed to Tripod
00m 47s	26.8 m	0 km	Low Risk	⚠️ <u>GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30m (Code: 30014)</u>
A <u>00m 48s</u>	26.9 m	0 km	Mode	Mode changed to Tripod
B <u>00m 50s</u>	27.3 m	0.00 km	Tip	GPS signal weak (Max altitude 30m)
C <u>00m 50s</u>	27.3 m	0.00 km	Low Risk	⚠️ <u>GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30m (Code: 30014)</u>
D <u>00m 53s</u>	24.3 m	0.06 km	Tip	No image transmission signal. Aircraft not connected to RC
E <u>00m 53s</u>	24.3 m	0.06 km	Medium Risk	⚠️ <u>Image transmission signal lost (Code: 80001).</u> ⚠️ <u>GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30m (Code: 30014)</u>
<u>00m 53s</u>	24.3 m	0.06 km		86% Battery at maximum distance

Figur 7: Logg som vist i Airdata. Kilde: TV 2/SHK



The Kp Index measures geomagnetic disruption caused by solar activity around the world, on a scale from 0 (calm) to 9 (major storm).

The higher the Kp index, the more likely the drone is to have problems.

Kp of 0 - 4 Generally safe

Kp of 4 - 6 May experience minor GPS issues

Kp of 6 - 7 May lose a single satellite lock and may cause inaccurate location readings, radio/control interference possible

Kp of 7+ Unsafe. You may lose multiple satellite locks. Higher chance of inaccurate location readings, severe radio range impact, and onboard electronics interference

Source: [GFZ](#) and [NOAA](#)

Figur 8: Kp-indeks fra Airdata. Kilde: TV 2/SHK

Figur 8 viser beregning av Kp-indeks som er en indeks for magnetisk forstyrrelse av signalet mellom dronen og fjernkontrollen.

1.12 Havaristedet og flyvraket

Dronen fløy gjennom et vindu med trelagsglass i fjerde etasje på Bryggen i Bergen. Dronen ble funnet liggende på ryggen omtrent en meter inn i rommet. En av personene som spiste lunsj, fikk mindre sår i hodet. Figur 9 viser bilde fra innsiden av vinduet der dronen fløy gjennom.



Figur 9: Skade på vinduet dronen fløy gjennom. Foto: Politiet/SHK



Figur 10: Skader på dronen. Foto: Politiet/SHK

1.13 Medisinske og patologiske forhold

Ikke relevant.

1.14 Brann

Ikke relevant.

1.15 Overlevelsesaspekter

Ikke relevant.

1.16 Spesielle undersøkelser

1.16.1 TESTFLYGNINGER MED MAVIC 3 DRONE

Havarikommisjonen har utført testflygninger med en DJI Mavic 3 drone for å kunne se hvor lang tid dronen bruker på å finne nok satellitter til å kunne fly trygt. Dette kunne ta alt fra 0,2 og opp til 14 sekunder på samme geografiske sted. Det kan også måtte påberegnes lengre tid for å få et tilstrekkelig antall satellitter ved flygning på nye geografiske områder.

1.16.2 ANALYSE AV FLYGELOGG

Havarikommisjonen har vært i kontakt med produsenten, DJI, ved flere anledninger i løpet av denne undersøkelsen. DJI har blitt forespurt om å hjelpe til å dekode flightrecord og analysere innholdet av den. Etter påtrykk fra Havarikommisjonen utførte DJI en analyse av hendelsesforløpet og produserte en rapport. Rapportens konklusjon vises i figur 11 og den tilhørende grafiske fremstillingen vises i figur 12.

Product Model: DJI Mavic 3

SN: 1581F45TB21AQ1BE00TZ

Additional Information:

Time: 2022-08-26 17:42:39 UTC+8

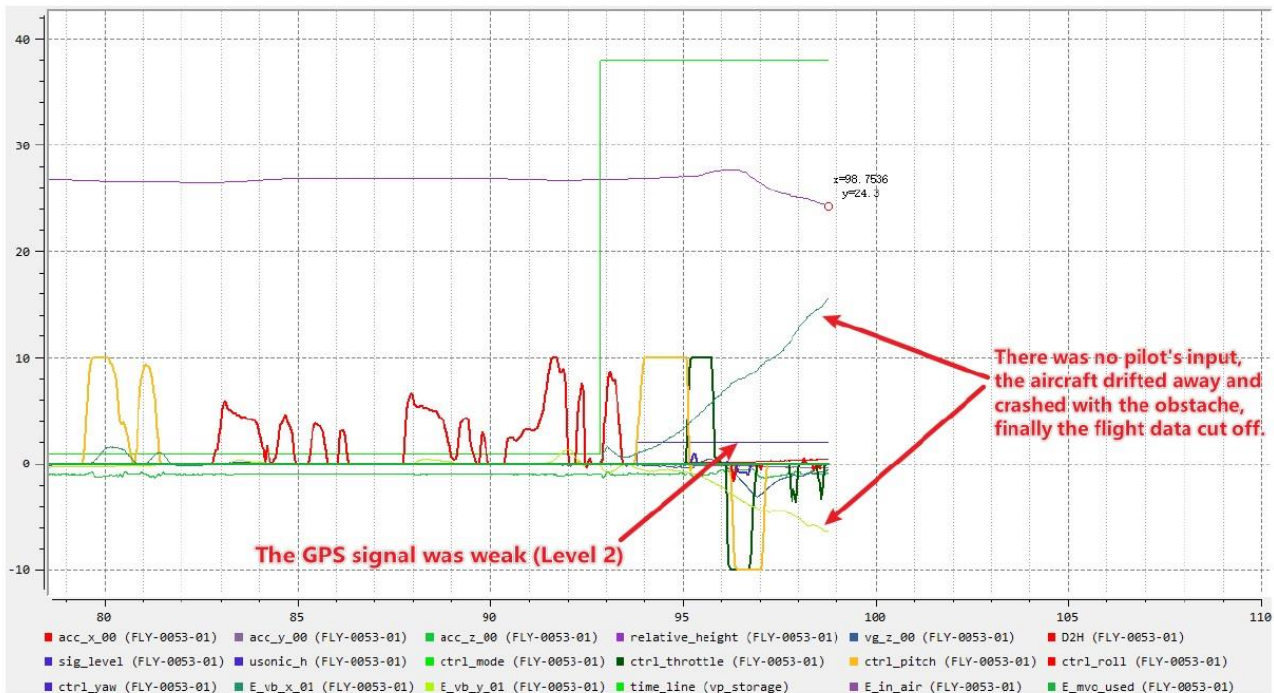
Data: FLY053

1. The aircraft worked under OPTI mode after it took off due to the weak GPS signal;
2. Flight Time T=67.4 s, Relative Height H= 24.7 m, the aircraft switched into ATTI mode;
3. T=93.8 s, H=26.9 m, the aircraft obtained the GPS signal and switched into Tripod mode, but the GPS signal was still too weak;
4. T=98.7 s, H=24.3 m, due to the weak GPS signal, the aircraft could not hover in place, then it drifted away and crashed with the obstacle;
5. The aircraft could not hover in place, brake, and avoid obstacles automatically if the GPS signal is weak. Please fly with caution.

Conclusion: The incident was caused by the operation error of the pilot.

Figur 11: Analyse og konklusjon fra DJI. Kilde: DJI/SHK

Related Analysis Picture



The aircraft crashed with the obstacle, then the data cut off.

Figur 12: Grafisk illustrasjon av analyse. Kilde: DJI/SHK

Havarikommisjonen har i tillegg stilt spørsmål til DJI og fått følgende svar:

1. Dronen håndhever de tilstandsavhengige hastighetsrestriksjonene (se kap. 1.6).
2. Lagring av data til flygeloggen ved brått tap av batteri skjer så lenge dronen er tilkoblet batteri.
3. Dersom dronen startes uten at hjempunktet er satt, vil det etableres et nytt hjempunkt når dronen får tilstrekkelig GPS-dekning.
4. Et stort avvik mellom *OSD.yaw* og *GIMBAL.yaw* skal gi en *OSD.isCompassError* som blir sann.

1.17 Organisasjon og ledelse

TV 2 Luftfoto opererte i åpen kategori⁹, og 90 % av oppdragene skjedde innenfor kravene til droneflygning under åpen kategori, underkategori A2. Om TV 2 Luftfoto trengte å utføre operasjoner som gikk utover begrensingene i flygning i kategori A2 ble oppdraget overlatt til en ekstern leverandør som hadde de nødvendige kvalifikasjonene. TV 2 Luftfoto hadde operert DJI Mavic 3 siden høsten 2021 og logget omtrent 1 130 timer fordelt på 10 dronepiloter.

TV 2 Luftfoto opererte dronene i åpen kategori basert på en Operasjonsmanual (OM).

TV 2 Luftfoto hadde på hendelsestidspunktet gjennomført 3 700 droneflygninger.

⁹ <https://luftfartstilsynet.no/en/drones/veiledning/apen-kategori-oversikt/open-category/>

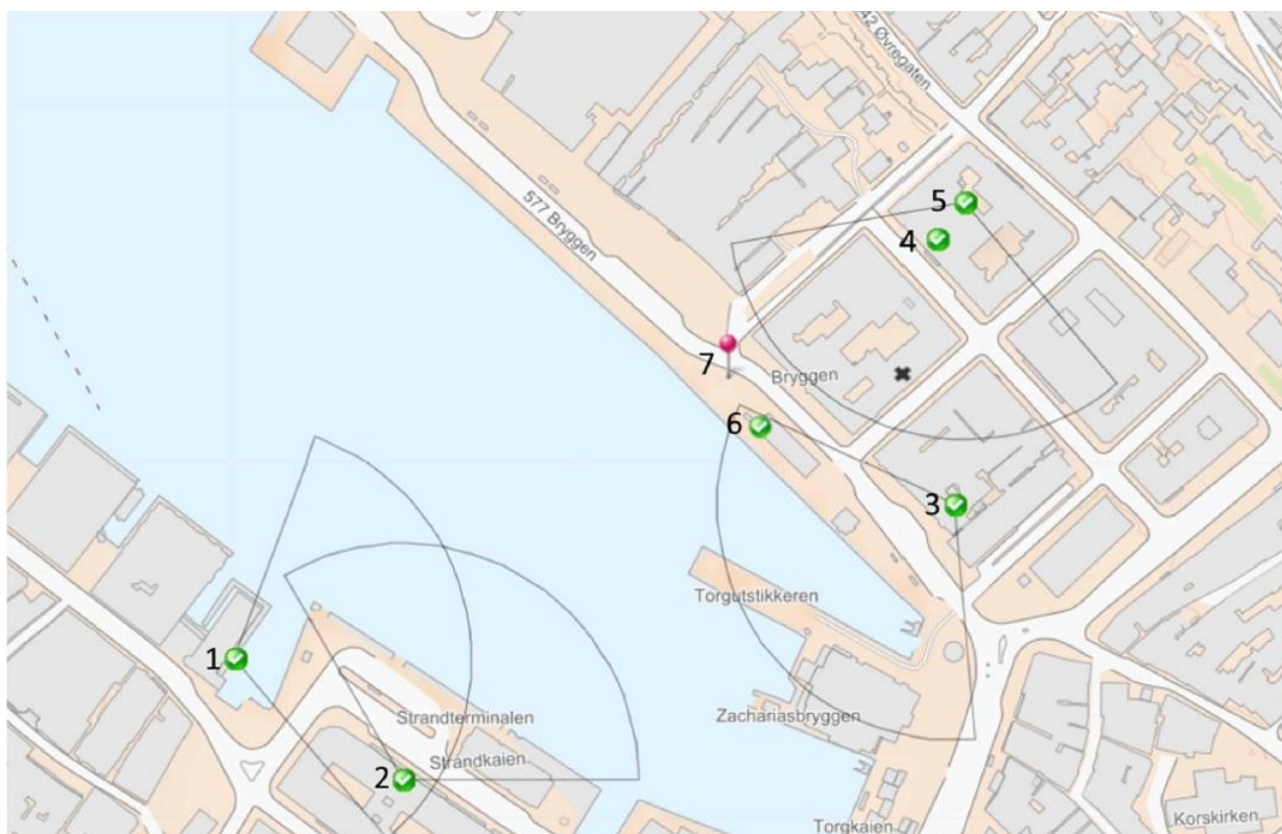
Operativ leder uttalte at de ikke hadde hatt noen andre hendelser med utilsiktede bevegelser med Mavic 3 droner enn det som skjedde i denne saken, men de hadde erfart at avgang fra stålkonstruksjoner kunne påvirke dronens kompass.

Dronepiloten har forklart at når han var med en journalist på et oppdrag, fløy de normalt sett ikke mer enn fem minutter for å ta de ønskede bildene. Om det krevdes brukte han journalisten som luftromsobservatør.

1.18 Andre opplysninger

1.18.1 RADIOSENDERE I OMRÅDET

Havarikommisjonen har vært i kontakt med Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom) med spørsmål om det finnes sendere i nærheten av Bryggen i Bergen der ulykken skjedde. Figur 13 viser basestasjoner for mobiltelefoni. Disse opererer på omkring frekvensene 700 MHz, 800 MHz, 1 800 MHz og 2 100 MHz. Senderen merket med 6 er en annen type sender med frekvens på omtrent 440 MHz. Markering nummer 7 viser omtrentlig plassering på dronen ved oppstart. Aktuelle sektorer på basestasjoner for mobiltelefoni er illustrert med en åpningsvinkel på 120° og avstand på 100 meter fra senderen.



Figur 13: Oversikt over sendere rundt Bryggen i Bergen. Markering nummer 7 viser omtrentlig plassering på dronen ved oppstart. Kilde: NKOM/SHK

1.18.2 TIDLIGERE UTGITTE SIKKERHETSTILRÅDINGER

Sikkerhetstilrådinger fra sikkerhetsundersøkelser er offentlig tilgjengelige etter at undersøkelsesrapporten er utgitt. Tilrådingene er tilgjengelig i European Central Repository of Safety Recommendations¹⁰.

1.18.2.1 DJI Matrice 200 V1 – 21 September 2019 at Somme Crescent, Inverness

The DJI Matrice 200 Unmanned Aircraft System (UAS) was being operated on an automated flight plan to conduct an aerial survey. On the fifth flight of the day, while the aircraft was at a height of 100 m, the ballistic parachute recovery system fitted to the aircraft activated. The aircraft descended under the parachute and was subsequently found on the roof of a nearby house.

Safety Recommendation 2021-016

It is recommended that DJI introduce an effective system for providing timely technical support to State safety investigations.

1.18.2.2 Fly-away after compass malfunction SJI Inspire 2 Unmanned Aircraft System

On 11 April 2020 the crew of PH-5MV, consisting of the pilot, the payload operator and two observers intended to perform a crowd observation and crowd control mission in the Zuiderpark, The Hague. The flight was performed with a DJI Inspire 2 Unmanned Aircraft System (UAS) with a camera payload. Shortly after take-off, during post take-off checks, the pilot lost control over the aircraft. Roughly 30 minutes later the crew was notified that witnesses had found the Unmanned Aircraft (UA) crashed on the sidewalk of a street in The Hague and reported it to the police. Following the crash, the operator initiated a safety investigation. Additionally, the Dutch Safety Board decided to conduct an investigation due to the potential for damage and injury to third parties.

To Da-Jiang Innovations Science and Technology Co., Ltd. (DJI):

2. Ensure that safety investigation authorities and operators are timely provided with technical support and relevant information for the purpose of safety investigation regarding UAS manufactured by DJI.

Deliberations with safety investigation authorities from other states have revealed that the abovementioned issue is not unique to the Netherlands. Therefore, in addition to the recommendation, the Dutch Safety Board will continue to stimulate discussion on this topic with other safety investigation authorities, emphasising the importance of manufacturer participation in safety investigations in the appropriate international bodies, in particular the International Civil Aviation Organization (ICAO).

1.18.3 MARKEDSTILSYN MED DRONER

Havarikommisjonen har vært i kontakt med flere myndigheter med tilsynsansvar for bemannet luftfart.

1.18.3.1 EASA

Havarikommisjonen tok kontakt med det Europeiske flysikkerhetsbyrået (European Aviation Safety Agency – EASA) for å diskutere den manglende informasjon fra DJI. Havarikommisjonen mottok følgende svar:

¹⁰ <https://sris.aviationreporting.eu/safety-recommendations>

For drones that do not require a certificate or declaration, like it seems to be the case in this event, EASA has no authority over the manufacturer's processes. We do share the concern raised by you, and some other European Safety Investigation Authorities, regarding the lack of support from the drone manufacturers. EASA is exploring the best means and forum to raise the issue under wider discussion within the investigation community to find solutions.

1.18.3.2 EU

Havarikommisjonen tok deretter kontakt med EU-kommisjonen da de er ansvarlige for å gi EASA de regler som trengs for at EASA kan gjøre sitt arbeid. EU-kommisjonen forklarte at EASA ikke er tilsynsmyndighet for dronesegmentet, da dette skal gjøres av det nasjonale markedstilsynet. I Norge har luftfartstilsynet blitt utpekt som myndighet for markedstilsyn for droner.

1.18.3.3 Markedsovervåkning av droner

Forordning (EU) 2019/945 omhandler tekniske krav til droner som selges på markedet. Kravene er rettet mot de økonomiske aktørene som produsenter, autoriserte representanter, importører og distributører. Denne forordningen er en del av EUs regelverk for sivil bruk av droner, og vil inntas i norsk rett ved EØS-gjennomføring.

Luftfartstilsynet er utpekt som markedstilsynsmyndighet etter forordning (EU) 2019/945, og skal overvåke droner plassert i markedet som kan flys i åpen kategori og i standard scenarier i spesifikk kategori (se forordning (EU) 2019/947).

Luftfartstilsynet vil få hjemler til å utføre et effektivt markedstilsyn (se sektorovergripende regelverk i EØS-vareloven, herunder forordning (EF) nr. 765/2008 og forordning (EU) 2019/1020). Etter nærmere undersøkelser av dokumentasjon og vareprøve, vil markedstilsynsmyndigheten treffe egnede tiltak dersom dronen ikke oppfyller kravene i henhold til regelverket.

Markedstilsynsmyndigheten vil også ha tilgang til systemer der det varsles om produkter som ikke er i samsvar med regelverket til andre markedstilsynsmyndigheter i EU/EØS. Etter forordning (EU) 2019/945 stilles det tekniske krav til droner for å sikre sikkerhet for både operatør og tredjeparter, og fremme ansvarlig og sikker bruk av droner i det europeiske luftrommet. Eksempelvis er det krav om at noen droner ikke skal overstige en maksimal startmasse, at den kun skal kunne opereres innenfor en maksimal høyde, og at den skal være sikkert kontrollerbar. Droner er for øvrig også underlagt annet produktregelverk der forordning (EU) 2019/945 ikke er dekkende, som eksempelvis maskindirektivet og radioutstyrdirektivet.

Markedstilsynet har forklart til Havarikommisjonen at de ikke har mulighet til å kunne gjennomføre en teknisk undersøkelse av DJI sine produkter for å kunne vurdere funnene i denne rapporten.

1.18.4 VURDERING AV FLYGNINGEN

Havarikommisjonen har bedt Luftfartstilsynet gjøre en vurdering av den droneflygningen i Bergen som er bakgrunnen for denne rapport. Luftfartstilsynet konkluderer med følgende:

Basert på beskrivelse og kartutsnitt fra SHK som viser operasjonen TV 2 fløy i Bergen den 26. august 2022, vil dette være en operasjon som faller utenfor rammene av «Åpen kategori A3» Dette skyldes nærheten til bebyggelse og mennesker. Eneste mulighet til å fly nært mennesker og bebyggelse med et ubemannet luftfartøy som veide 850 g var i 2022 «Åpen kategori A2».

TV 2 benyttet en Mavic 3 som ikke var C-merket til å gjennomføre operasjonen. Dermed måtte flyvingen gjennomføres etter overgangsreglene for A2. Disse finner man i forordningen 2019/947 artikkel 22. Artikkelen bokstav (b) stiller krav om en minimumsavstand på 50 m til mennesker. Merk at denne avstanden ikke gjelder for bygninger.

Bryggen i Bergen er et trafikkert område. Avgang og landing ble gjennomført fra et sted hvor Luftfartstilsynet ikke kan se at det på tidspunktet for operasjonen ville vært mulig å ha nok avstand og oversikt, til å unngå at det er mennesker nærmere enn 50m fra det ubemannede luftfartøyet. Tidspunktet på døgnet når hendelsen fant sted tilsier at det var mennesker til stede i området. Det er vår vurdering at denne flyvingen på tidspunktet for hendelsen ikke kunne vært gjennomført innenfor rammene av åpen kategori A2 med «legacy drone».

1.18.5 LUFTFARTSLOVEN

Havarikommisjonens arbeid er regulert i lov 11. juni 1993 nr. 101 om luftfart (luftfartsloven) med tilhørende forskrift. Luftfartsloven § 12-6 jf. undersøkelsesforordningen artikkel 11.2 omtaler hva en havarikommisjon har rett til å få av informasjon i en undersøkelse. Artikkel 11 2. g) slår fast at Havarikommisjonen skal:

få fri tilgang til alle relevante opplysninger og opptegnelser som eieren, innehaveren av sertifikatet for typekonstruksjon, den ansvarlige vedlikeholdsorganisasjon, opplæringsorganisasjonen, operatøren eller produsenten av luftfartøyet, myndighetene med ansvar for sivil luftfart, EASA eller ytere av flysikringstjenester eller flyplassoperatører har.

1.18.6 REGLER FOR FLYGNING I ÅPEN KATEGORI

Åpen kategori reguleres av forordning 2019/947 gjennomført som nasjonal forskrift i form av BSL A 7-2.

1.18.6.1 Krav for flygning i A1

Frem til 31. desember 2023 eksisterte det overgangsregler som medførte at man kunne benytte ubemannede luftfartøy uten C-klassemerke i åpen kategori A1. Flygning i A1 kunne bare utføres dersom dronen veide mindre enn 500 gram. Det var ikke tillatt å fly over utenforstående personer.

Fra 1. januar 2024 må alle droner som skal operere i A1 ha et C-merke.

1.18.6.2 Krav for flygning i A2

Frem til 31. desember 2023 eksisterte det overgangsregler som medførte at man kunne benytte ubemannede luftfartøy uten C-klassemerke i underkategorien A2. Flygning i A2 kunne bare utføres dersom dronen veide under 2 kg.

For ubemannede luftfartøy fløyet etter overgangsregel for åpen kategori A2, gjaldt en absolutt avstand på 50 meter horisontalt. En drone kan fly nærmere personer dersom dronen har en saktemodusfunksjon. Dette gjelder kun for C-merkede ubemannede luftfartøy. I tillegg gjelder 1:1 regelen for høyder over 50 meter, hvor avstanden til objektet må økes tilsvarende flyhøyden.

Fra 1. januar 2024 må alle droner som skal operere i A2 ha et C-merke.

1.18.6.3 Krav for flygning i A3

I åpen kategori A3 kan man alltid operere ubemannede luftfartøy uten C-klassemerke, men da under den forutsetning at man opprettholder en minimumsavstand på 150 meter fra både mennesker og bygninger.

Fra og med 1. januar 2024 kan kun ubemannede luftfartøy med C-klassemerking opereres i underklasse A1 og A2, øvrige ubemannede luftfartøy må opereres i underklasse A3.

1.18.7 ICAO ANNEX 13

Overenskomst om internasjonal sivil luftfart (ICAO-konvensjonen) er ratifisert av Norge. Den setter i vedlegg 13 Aircraft Accident and Incident Investigation krav til hvordan en sikkerhetsundersøkelse skal gjennomføres. ICAO-konvensjonen annex 13 kapittel 5 punkt 5.6 gir en undersøkelsesleder rett til å hente inn alt relevant materiale som kan brukes i undersøkelsen.

Investigator-in-charge — Access and control

5.6 The investigator-in-charge shall have unhampered access to the wreckage and all relevant material, including flight recorders and ATS records, and shall have unrestricted control over it to ensure that a detailed examination can be made without delay by authorized personnel participating in the investigation.

1.19 Nyttige eller effektive undersøkelsesmetoder

Det har ved denne undersøkelsen ikke blitt benyttet metoder som kvalifiserer til spesiell omtale.

2. Analyse

2.1 Innledning	31
2.2 Vindretning og styrke	31
2.3 Dataintegritet fra flightrecord	31
2.4 Vurdering av hendelsesforløpet	32
2.5 Mulige årsaker til tap av kontroll	33
2.6 Manglende informasjon fra DJI	36
2.7 Sikkerhet ved bruk av droner	36
2.8 Reaksjoner etter ulykken.....	37
2.9 Rapporter om dronefeil	37
2.10 Samsvar med kravene til flygning i A2.....	37

2. Analyse

2.1 Innledning

Undersøkelsen har hatt som mål å identifisere de faktorene som bidro til at dronen ikke lengre responderte på pilotens kommandoer. Herunder inngikk å fastslå teknisk status og også hvordan dronen ble benyttet.

2.2 Vindretning og styrke

Havarikommisjonen har innhentet værreport fra Meteorologisk institutt. Rapporten oppgir en vindstyrke under 6 m/s. Dette må betegnes som en relativt lav vindstyrke og er godt innenfor dronens begrensinger. Airdata kan beregne vindstyrke basert på telemetridata fra flygeloggen etter en flygning, men krever da GPS-posisjon. Dronen som operativ leder fløy på samme tid som dronepiloten fløy Mavic 3 hadde tilstrekkelig med datapunkter til at Airdata kunne beregne vindretning og styrke. Siden denne dronen fløy i samme tidsrom og omtrent i samme høyde vurderes de beregningene for vindretning og styrke som de mest relevante data som er å oppdrive når det gjelder vindstyrke og retning for denne undersøkelsen.

Havarikommisjonen legger derfor til grunn for analysen at vindretningen som Mavic 3 var utsatt for hadde en retning på mellom 319° og 334° grader og en styrke på mellom 3,5 m/s og 4,8 m/s. Videre legges det til grunn at i høyden 0–8 meter var det tilnærmet vindstille mens i høyden 8–15 meter var det vind med styrke og retning som beskrevet over.

2.3 Dataintegritet fra flightrecord

2.3.1 DEKRYPTERING AV FLIGHTRECORD

Havarikommisjonen har benyttet Flight Reader som et tredjeparts program for dekryptering av flygeloggen. Havarikommisjonen er kjent med at havarikommisjoner i andre land i samme situasjon har benyttet tredjeparts programmer for dekryptering og legger derfor til grunn at de data som fremkommer etter dekryptering av flygeloggen fra Flight Reader kan stoles på som ekte data fra dronen.

2.3.2 SISTE DATAPUNKT

Det siste registrerte datapunktet var 53,3 sekunder ut i flygningen. Da hadde dronen en hastighet på 8,3 m/s i retning nord, 16,6 m/s i retning øst og 0,3 m/s i retning nedover. Resultanthastigheten i nordøstlig retning var 18,3 m/s. Avstanden fra den GPS-posisjonen som registreres på siste datapunkt til bygningen dronen traff er omtrent 10 meter. Ved konstant hastighet fra siste datapunkt ville dronen treffe bygningen 0,5 sekunder etter siste datapunkt. Med samme oppdateringsfrekvens som tidligere i flygningen var det forventet at det skulle være to eller tre datapunkter med tidsstempel etter 53,3 sekunder. Dette kan imidlertid basere seg på hvordan verdiene som logges prosesseres. I datamaskiner finnes det ofte et lite, men raskt minne *L2 cach* og et treigere, men større hovedminne. Dronens batteri ble funnet ved siden av dronen på havaristedet. Da batteriet løsnet fra dronen ble data fra rett før dronen traff vinduet mest sannsynlig ikke lagret i hovedminnet og har dermed ikke latt seg gjenskape. Havarikommisjonen har vært i kontakt med DJI med spørsmål om hvordan data lagres til flygeloggen. De har forklart at dronen lagrer data så lenge den er tilkoblet batteri, men ikke svart spesifikt på om data mellomlagres i et *cache*-minne og dermed er mulig å hente ut.

2.4 Vurdering av hendelsesforløpet

Hendelsesforløpet analyseres med hensyn til de *modes* som dronen var innom under denne flygningen.

På denne flygningen var dronen innom mode *Starting motor* og *Manual takeoff*. I begge de tilstandene forløp flygningen som normalt. Da dronen gikk over i *P-GPS mode* oppstod det et avvik i kompasset hvor verdien for *OSD.yaw* begynte å avvike fra verdien for *GIMBAL.yaw*. Dette avviket begynte på 45,5°. Avviket økte mer den neste tidsperioden og hadde på det meste en verdi på 117°. Dronens *gimbal* var i *follow yaw mode* der dens kompassverdi skulle samsvare relativt godt med *gimbal* kompassverdi.

Dronen hadde i starten ingen hastighet i østlig retning, men etter 15,5 sekunder beveget dronepiloten høyre styrespak noe mot høyre. I det ligger det at det ikke var fullt utslag. Hastigheten økte fra 0 m/s til 8,9 m/s etter 19 sekunder og deretter ble den redusert til 4,5 m/s. Dronen hadde registrert en maksimal pitch på -30 grader fra 16 til 18 sekunder. Et lite utslag på fjernkontrollens høyre styrespak skulle ikke resultere i en slik hastighet og krenkning som dronen registrerer. Det er grunn til å tro at dronens hastighet og pitch-vinkel i østlig retning ikke utelukkende baseres på input fra dronepiloten.

Dronen gikk deretter over i *ATTI mode* etter 22,5 sekunder. Dronen responderte som forventet i denne mode med beskrevet vindstyrke.

Etter 47,9 sekunder gikk dronen over i *Tripod mode* og hadde i denne tilstanden en kobling mot 10 GPS-satellitter. *OSD.gpsLevel* hadde verdien 0 frem til 56,4 sekunder hvor den skiftet verdi til 2. Frem til 48,5 sekunder ble hverken *vision* systemet eller GPS benyttet for å stabilisere dronen på et punkt i luften. Det er derfor grunn til å tro at dronen i dette tidsrommet fortsatt fløy i *ATTI mode* selv om loggen indikerte at den var i *Tripod mode*. Dronen syntes å kreve kobling mot 10 GPS-satellitter før den gikk ut av *ATTI mode*, men det så ikke ut til å være noe krav til et GPS-nivå før den gikk ut av *ATTI mode* siden *OSD-gpsLevel* fortsatt var 0. Dette støttes også ved at det på en tidligere flygelogg der dronen ble fløyet i *ATTI mode* var overgang til *Sport mode* fra *ATTI mode* selv om GPS-nivå var 0.

Endringen av tilstand kan også være et resultat av at dronepiloten satte *mode*-selektoren på fjernkontrollen i *tripod mode* etter 47,9 sekunder og at dronen først etter 48,7 sekunder kunne beregne sin egen posisjon basert på data fra GPS-satellittene. Da ble det for første gang registrert i loggen at GPS ble benyttet som kilde for å stabilisere dronen og dronens posisjon ble registrert.

2.4.1 STIKKEPÅDRAG, HØYDE OG HASTIGHET NEDOVER

Fra 47,9 sekunder ble fjernkontrollens venstre stikke holdt i midtstilling mens dronen hadde en høyde på 88 fot og ingen hastighet oppover som vist i figur 18. I tidsperioden fra 48,1 sekunder til 50 sekunder økte høyden fra 88 fot til 89 fot uten at hastigheten ble endret. Etter 50 sekunder ble den venstre stikka beveget fremover i omtrent 0,5 sekunder, høyden økte fra 89 til 90 fot og det ble registrert en hastighet på 0,9 m/s. Stikka ble beveget rett fra fullt utslag fremover til fullt utslag bakover og den ble holdt 0,5 sekunder i bakre stilling. I denne perioden ble høyden redusert fra 90 fot til 86 fot med en hastighet på 1,8 m/s. Deretter ble stikka beveget bakover fra midtstilling to ganger og høyden ble redusert fra 86 fot til 80 fot. Dronen hadde i *Tripod mode* en hastighetsbegrensning på 1 m/s oppover og nedover.

I starten gir dronepiloten input oppover i 0,5 sekunder og teoretisk skulle dronen kunne øke høyden med 0,5 meter. Loggen indikerer at dronens høyde økt med en fot, 0,3 m. Dette virker rimelig da en vind ville kunne motvirket dronens evne til å yte full teoretisk stige-hastighet. Da stikka ble trukket tilbake ble høyden redusert med en hastighet som har en maksimal verdi på 1,8 m/s.

Dette er en hastighet som overgår de teoretiske tilstandsavhengige hastighetsbegrensningene for stige og synkehastighet i *Tripod mode*. Dronens høyde så ut til å stemme overens med dronepiloten sin input.

2.4.2 STIKKEPÅDRAG OG HASTIGHET I NORDLIG RETNING

Mens dronen er i *Tripod mode* har *OSD.yaw* verdier mellom 84,3 og 91 grader. Dersom dronen hadde hatt en orientering på 90 grader ville all hastighet sideveis komme fra *RC.aileron*. Dette betyr at for denne dronen med orientering på tett opptil 90 grader kan hastighet nordover sammenlignes med input fra *RC.aileron*.

Dronen hadde før 47,9 sekunder registrert en hastighet på 0,9 m/s som vist i figur 19. Hastigheten økte fra 0,9 m/s til 1,8 m/s da dronepiloten beveget den høyre stikka fremover. Etter kort tid ble stikka satt i midtstilling mens hastigheten økte fra 0,9 m/s til 3,6 m/s. Dronepiloten beveget da stikka bakover for å motvirke dronens bevegelse. Dette hadde ingen effekt og dronen fortsatte å øke hastigheten til 6,2 m/s. Deretter ble stikka satt i midtstilling mens dronens hastighet fortsatte å øke til 8 m/s. Denne hastigheten overgikk hastighetsbegrensningen på 5 m/s som produsenten anga for *Tripod mode*. Dronen fløy dermed med en høyere hastighet enn det som var tillatt i *Tripod mode*, i tillegg til at hastigheten økte selv uten at dronepiloten påtrykket noen kommandoer.

2.4.3 STIKKEPÅDRAG, KRENGNINGSVINKEL OG HASTIGHET I ØSTLIG RETNING

Mens dronen er i *Tripod mode* har *OSD.yaw* verdier mellom 84,3 og 91 grader. Dersom dronen hadde hatt en orientering på 90 grader ville all hastighet sideveis komme fra *RC.elevator*. Dette betyr at for denne dronen med orientering på tett opptil 90 grader kan hastighet nordover sammenlignes med input fra *RC.elevator*.

Dronen hadde etter 47,9 sekunder en hastighet i østlig retning på 0,9 m/s som vist i figur 20. Hastigheten sank idet stikka ble beveget tilbake mot midtstilling, som forventet fra en fungerende drone. Fra 48,2 sekunder ble stikka holdt i midtstilling mens dronens hastighet økte til 16,6 m/s. Dette var en hastighet som ikke var påtrykket fra fjernkontrollen og heller ikke i samsvar med de begrensningene som var gjeldende for *Tripod mode*. De hastighetene som ble registrert i nordlig og østlig retning var utenfor de begrensningene som DJI oppgir for *Tripod mode*.

Havarikommisjonen mener gjennomgangen av hendelsen viser at de hastighetene dronen hadde registrert ikke var forenlig med flygning i *Tripod mode* slik flygeloggen indikerer, og heller ikke forenlig med dronepilots input fra fjernkontrollen. Mulige årsaker til dette diskuteres videre i kapittel 2.5.

2.5 Mulige årsaker til tap av kontroll

I dette kapittel beskrives flere mulige årsaker til avvikene identifisert i flygeloggen og det konkluderes for hver hypotese.

2.5.1 LINKEN MELLOM DRONEN OG FJERNKONTROLLEN

Siden dronen utførte flygning som ikke stemte overens med dronepilots stikkebevegelser fra 47,9 sekunder ut i flygningen, var det grunn til å stille spørsmål ved om noen utenforstående kunne ha blokkert signalet mellom fjernkontrollen og dronen eller tatt over kontrollen over dronen. Ifølge informasjon fra Nkom lå avgangstedet utenfor det de anser som risikozonen for den nærmeste radiosenderen til havaristedet. Mulige teorier var at en annen sender blokkerte forbindelsen mellom dronen og fjernkontrollen eller at utenforstående overtok kontrollen over dronen.

2.5.1.1 Blokkering av signal

Dronen benyttet frekvensen 2,4 GHz for overføring av styrekommandoer og det frekvensbåndet var benyttet av annet elektronisk utstyr som f.eks. trådløse nett. Dersom et slikt nett hadde en sendestyrke som overgikk sendestyrken fra fjernkontrollen kunne dronen dermed miste kontakten med fjernkontrollen. I et slikt tilfelle ville dronen reagert med å returnere til hjempunktet slik dronepiloten hadde programmert dronens applikasjon til å utføre. Her tok dronen av uten tilstrekkelig kobling mot GPS-satellitter for å kunne etablere et hjempunkt og dermed er det usikkerhet rundt hvordan dronen ville oppført seg. Havarikommisjonen har forespurt produsenten, DJI, hvordan dronen vil oppføre seg under *Return to home* uten at hjempunktet er etablert, og de har forklart at dronen da vil etablere et nytt hjempunkt når den får tilstrekkelig GPS-signaler.

Det som taler mot en teori om blokkering er at fjernkontrollen registrerte 100 % signalkvalitet på linken fra fjernkontrollen til dronen og 100 % kvalitet på linken mellom dronen og fjernkontrollen under hele flygningen. I tillegg indikerte loggen at *Return to home* funksjonen ikke ble aktivert. Skulle blokkering vært tilfelle ville det kunne antas at også DJI Air2S som ble fløyet samtidig ble blokkert. Fra Airdata og rapport fra Kartverket vises det en *Kp*-indeks som sier noe om elektromagnetisk stråling. Denne flygningen viser en indeks på 2/3 fra Airdata og verdier under 1 fra Kartverket. Begge disse er godt innenfor området fra 0 til 4 som beskrives som *generally safe*. Havarikommisjonen mener derfor at teorien om at signalet mellom dronen og fjernkontrollen ble blokkert er lite sannsynlig.

2.5.1.2 Overtagelse av kontroll

Det finnes anti-drone teknologi som blant annet kan overta kontroll over en drone som f.eks. flys ulovlig i nærhet til en flyplass. Dersom utenforstående i nærheten av havaristedet hadde slikt utstyr og rettet det mot dronen kunne det blitt brukt til å overta kontrollen over dronen. Slikt utstyr var tilgjengelig på markedet og hadde blitt demonstrert på flere konferanser. Dersom fjernkontrollen var ansvarlig for å håndheve de tilstandsavhengige hastighetsbegrensningene ville en som tar over kontrollen av en drone kunne påtrykke andre hastighetskommandoer, siden fjernkontrollen ikke lengre styrer dronen. DJI har forklart at det er dronen som håndterer hastighetsbegrensningene, slik at ved en eventuell overtagelse av kontrollen vil hastighetsbegrensningene fortsatt være innenfor den aktuelle *mode*.

I hvert datapunkt fra flygeloggen hentes serienummeret på den tilkoblede fjernkontrollen. Flygeloggen viste at serienummeret ikke var endret. Det var registrert en signalstyrke på 100 % både til og fra dronen under hele flygningen. Om utenforstående skulle overta kommandoen over dronen vil Havarikommisjonen forvente at fjernkontrollens logg hadde indikert at signalet mellom fjernkontrollen og dronen forsvant og ikke gjennomgående være 100 %.

2.5.2 FLYGETILSTAND

Analyse av data fra flygeloggen indikerte at dronen hadde hastigheten på 18,5 m/s ved siste datapunkt. Denne hastigheten overgikk de begrensningen på 5 m/s som DJI oppgav for *Tripod mode*. Hver av *mode*-ene *P-GPS*, *Tripod* og *Sport* hadde hver sine hastighetsbegrensninger angitt av DJI. Dronens vindbegrensing var 12 m/s, uavhengig av *mode*.

Loggen viste at dronen gikk fra *ATTI mode* til *Tripod* og at det gikk ett sekund før den kunne benytte GPS-satellitter til å beregne egen posisjon. Dette kan tyde på at *mode*, som vist i loggen, ble startet da dronepiloten satte fjernkontrollens selektorbryter i *Tripod*, men at dronen ikke gikk i *Tripod mode* før den hadde fått kobling mot et tilstrekkelig antall GPS-satellitter, og at den ikke sjekket GPS-nivå før den gikk ut av *ATTI mode*.

At det var lagret hastighetsverdier som overgikk det som var tillatt i *Tripod mode* kan tolkes enten som at dronen ikke var kommet i *Tripod mode* eller at en funksjon, som hadde autoritet utover hastighetsbegrensningene, ble aktivert.

2.5.2.1 Feil på kompass

Med et relativt stort avvik mellom verdiene for *OSD.yaw* og *GIMBAL.yaw* var det nærliggende å vurdere om dette avviket kunne være en kilde til tap av kontroll. Dersom dronen trodde den pekte mot 87° mens den i realiteten pekte mot 334° grader kunne det oppstå en såkalt positiv tilbakekopling der dronens forsøk på å stå i ro i luften førte til en kompensering i feil retning som ville gi et stadig økende pådrag som kunne få dronen ut av kontroll.

I dette tilfellet kom vinden omtrent rett i forfra med en retning på 319–324° mens *GIMBAL.yaw* viser 334°. I et normalt tilfelle skulle dronen senket angrepsvinkelen (pekt nesene nedover) og rullet litt mot venstre for å kompensere for vinden og dermed stå i ro. Dersom dronen benyttet verdien for *OSD.yaw* istedenfor *GIMBAL.yaw* ville den trodd den pekte mot 87° med samme vindretning som tidligere. Dronen ville da kompensert som om vinden kom fra 237° og dermed forsøkt å stabilisere ved å senke angrepsvinkelen og rulle mot venstre for å kompensere for en vind som ikke eksisterer. Dette ville da resultert i at dronen fløy mot venstre og bort fra bygningen den traff. Havarikommisjonen har vært i kontakt med DJI for å høre hvordan stabiliseringsalgoritmen fungerer, om det finnes noen håndtering av en positiv tilbakekobling og hva verdiene for *OSD.yaw* og *GIMBAL.yaw* benyttes til. DJI har opplyst at det ville bli vist en advarsel på fjernkontrollen om avviket mellom *OSD.yaw* og *GIMBAL.yaw* ble for stort. Basert på data fra flygeloggen mener Havarikommisjonen at det er lite sannsynlig at feil på kompasset skulle forårsake tap av kontroll.

2.5.2.2 Overgang fra ATTI til Tripod mode

Data fra flygeloggen viste at dronen fløy stabilt i *P-GPS mode* og i *ATTI mode*. Også de første fire datapunktene i *Tripod mode* framstod som normale. Det var første i det femte datapunktet i *Tripod mode* der dronen benyttet GPS for stabilisering (*OSD.isPGSUsed = True*) hvor dronens hastighet økte hurtig i nordlig og østlig retning uten at dronepiloten påtrykket slike styrekommandoer. På dette tidspunktet ble det registrert et GPS-nivå på 2 der DJI hadde beskrevet at det krevdes GPS-nivå 3, 4 eller 5 for å kunne fly trygt. Det gikk ikke mange datapunkter før dronen registrerte hastigheter som langt overgikk de restriksjonene som var gjeldende i *Tripod mode*. Det fremstod dermed som om en funksjon i dronen hadde blitt aktivert og hadde autoritet over hastighetsbegrensningen i *Tripod mode*. DJI konkluderer i sin analyse med at dronen går over fra *ATTI mode* til *Tripod mode*, men har for lite GPS-nivå til å kunne stabilisere i luften og drifter inn i bygningen, og mener dette skyldtes feil fra piloten.

Havarikommisjonen mener første del av analysen til DJI er riktig, men at konklusjonen i deres analyse ikke kan stemme. Dersom dronen kun benytter antall GPS-satellitter som kriterium for å gå ut av *ATTI mode* og ikke samtidig vurderer GPS-nivå som et av kriteriene, og samtidig heller ikke gir dronepiloten noen indikasjoner på tilstanden, fremstår dette som en designfeil ved dronen. En dronepilot vil ikke ha forutsetning hverken for å hindre situasjonen eller kunne reagere på den. DJI mener at dronen har driftet. Havarikommisjonen tviler på at dronen kan ha driftet med en hastighet på 18,6 m/s når vinden i det aktuelle området var 4,2–4,8 m/s og i tillegg hadde en annen retning enn den veien dronen skal ha driftet. En slik designsvakheten gjør det klart at å ta av med en drone uten tilstrekkelig GPS-dekning innebærer en vesentlig sikkerhetsrisiko med denne dronen. Basert på denne analysen anbefaler Havarikommisjonen alle brukere av DJI Mavic 3 drone å være forsiktige med å fly steder med dårlig GPS-dekning. Dette for å hindre at dronen går over i *ATTI mode*. Det gis en sikkerhetstilråding til Luftfartstilsynet om dette.

Statens havarikommisjon tilrår at Luftfartstilsynet opplyser brukere av DJI Mavic 3 drone som opereres i norsk luftrom om svakheten der dronen kan komme ut av kontroll etter overgang fra *ATTI mode*.

2.6 Manglende informasjon fra DJI

Havarikommisjonen har mandat til å hente inn all relevant informasjon knyttet til en luftfartshendelse eller ulykke. Det tok mer enn 10 måneder og flere purringer før DJI analyserte flygeloggen, og selv om flere spørsmål ble besvart underveis i undersøkelsen står flere tekniske spørsmål fortsatt ubesvart. DJI forholder seg med dette ikke til kravene gitt i felleseuropeiske direktiv. Enhver aktør i europeisk luftfart forutsettes å forholde seg til gjeldende regelverk. Avvik fra dette forhindrer læring fra ulykker og hendelser og åpner for at tilsvarende gjentas. DJI har også tidligere utvist en manglende vilje til å bidra tilstrekkelig i sikkerhetsundersøkelser av droner både ovenfor den nederlandske havarikommisjonen og den britiske havarikommisjonen. DJI synes heller ikke gjort nevneverdige endringer etter at de har fått sikkerhetstilrådingen på dette temaet. Basert på den mangelfulle tilbakemeldingen har ikke DJI dokumentert at DJI Mavic 3 har et forventet sikkerhetsnivå. Følgelig vites det heller ikke om svakheten avdekket i denne undersøkelsen også gjelder andre DJI droner.

Basert på historien anser ikke Havarikommisjonen at det vil være hensiktsmessig med ytterligere sikkerhetstilrådingen til DJI.

2.7 Sikkerhet ved bruk av droner

DJI Mavic 3-dronen ble plassert i det europeiske merket med en CE-deklarerings. Ingen ytterligere godkjenning for luftfartssikkerhet ble søkt, og heller ikke gitt av den europeiske luftfartssikkerhetsmyndigheten, EASA. EASA har uttalt at de mangler autoritet over produksjonsprosessen, i dette tilfellet hos DJI.

EU-kommisjonen har i møte med Havarikommisjonen uttalt at denne typen problemer knyttet til ubemannede flysystemer må tas opp av de nasjonale markedstilsynene for droner. Den norske overvåkingsmyndigheten har uttalt at de ikke vil ha mulighet til å utføre en detaljert teknisk undersøkelse av en DJI Mavic 3-drone for å løse problemet med kriteriene for å avslutte *ATTI*-modus som er identifisert i denne rapporten.

Havarikommisjonen frykter at enhver undersøkelse iverksatt av en markedstilsynsmyndighet vil møte lignende utfordringer når de ber om informasjon fra DJI. Det vil også uthule i Havarikommisjonens mandat dersom tilsynsmyndigheten ble gitt samme mandat som SHK for å innhente relevant informasjon. Havarikommisjonen ser på overvåkingsmyndigheten som en myndighet for produktsikkerhet og ikke luftfartssikkerhet, som er Havarikommisjonens sin jobb.

Havarikommisjonen gir derfor en sikkerhetstilråding til EU-kommisjonen om å gi en myndighet mandat til å gjennomføre en teknisk gjennomgang av DJIs ubemannede luftfartssystemer.

Statens havarikommisjon tilrår at EU-kommisjonen gir en myndighet mandat til å gjennomføre en teknisk gjennomgang av DJIs ubemannede flysystemer der DJI presenterer dokumentasjon på at systemene opprettholder den forventede luftfartssikkerhetsstandard.

Havarikommisjonen har opplevd vanskeligheter med å få tilstrekkelig informasjon fra DJI. EASA har ingen myndighet til å gi DJI pålegg om å støtte en sikkerhetsundersøkelse. Det er ingen myndighet med mandat til å gi droneprodusenten pålegg om å støtte sikkerhetsundersøkelsesmyndigheten under en sikkerhetsundersøkelse.

Statens havarikommisjon tilrår EU-kommisjonen å implementere lovgivning der alle produsenter av ubemannede flysystemer kan nektes tilgang til europeisk luftrom for ikke å støtte sikkerhetsundersøkelser uavhengig av kategorien der det ubemannede flysystemet ble operert.

2.8 Reaksjoner etter ulykken

Dronepiloten gjorde seg raskt til kjenne for de som satt inne på pauserommet etter at dronen fløy gjennom vinduet. Etter å ha fått oversikt over skadestedet ringte han selv til politiet for å varsle om hendelsen. Havarikommisjon mener dronepiloten handlet raskt og riktig i den stressende situasjonen som oppstod. Dette er et eksempel til etterfølgelse for andre dronepiloter som opplever uønskede hendelser med dronen de flyr.

2.9 Rapporter om dronefeil

Med stadig flere droner i luftrommet kan det oppstå konflikt mellom bemannet og ubemannet luftfartøy. Det krever at luftfartøy kan separeres i tid eller sted. Der bemannet luftfart er gjenstand for omfattende sertifiseringsprosesser framstår ikke dette å være tilfellet for ubemannet luftfart. Denne hendelsen og undersøkelsen av den indikerer at det kan være sikkerhetsutfordringer som kan medføre tap av kontroll. En sikker luftfart fordrer at også droneprodusenter leverer pålitelige system. For å kunne få et korrekt risikobilde i forbindelse med regulering er det viktig at reguleringsmyndighetene vet om hendelser. En teknisk feil som fører til tap av kontroll, kan kompromittere adskillelse i tid eller sted og er dermed viktig å oppdage og deretter korrigere. Havarikommisjonen vil med dette oppfordre alle som opplever å miste kontrollen over dronen til å rapportere dette.

2.10 Samsvar med kravene til flygning i A2

Dronen lettet fra bryggen og ble fløyet i en høyde på 80 fot før piloten mistet kontrollen. Kravene til sikkerhetsavstand for å benytte en Mavic 3-drone i åpen kategori A2 var 50 meter pluss dronens høyde. Basert på Luftfartstilsynets vurdering av denne flygningen var den ikke i samsvar med kravene for å operere i åpen kategori A2. I utgangspunktet undersøker ikke Havarikommisjonen luftfartshendelser der flygningen går utenfor hva reglene tillater. Utfordringen som denne hendelsen viser, er at en teknisk feil med en drone kan gjøre at den opprinnelige risikovurderingen gjort før flygning ikke lengre er relevant dersom piloten taper kontroll av dronen. Undersøkelsen som den nederlandske havarikommisjonen gjennomførte viste at en drone fløy i 30 minutter før den gikk tom for strøm og falt mot bakken. I et slikt scenario spiller det mindre rolle hvordan sikkerhetssone ble etablert før avgang.

3. Konklusjon

3.1 Hovedkonklusjon.....	39
3.2 Undersøkelseresultater	39

3. Konklusjon

3.1 Hovedkonklusjon

Under trening til et oppdrag sluttet dronen å respondere på dronepilotens input. Dronen akselererte ute av kontroll og fløy gjennom et vindu. Det har ikke vært mulig å finne en forklaring på at dronen kom ut av kontroll, men det synes å være relatert til overgangen mellom *ATTI mode* og *Tripod mode* med for lavt GPS-nivå.

3.2 Undersøkelseresultater

- A. Dronepiloten hadde gyldig rettigheter til å fly dronen.
- B. Denne flygningen skjedde ikke innenfor reglene for åpen kategori A2.
- C. Dronen sluttet å respondere på dronepilotens input.
- D. En person ble lettere skadet under hendelsen.
- E. Havarikommisjonen finner det lite sannsynlig at dronen ble jammet eller at noen overtok kontrollen over dronen.
- F. Havarikommisjonen finner det sannsynlig en svakhet ved dronen gjorde at den gikk over fra *ATTI mode* til *Tripod mode* uten å verifisere at den hadde tilstrekkelig GPS-nivå til å kunne fly trygt.

4. Sikkerhetstilrådingar

4. Sikkerhetstilrådingar

Statens havarikommisjon fremmer følgende sikkerhetstilrådingar¹¹:

Sikkerhetstilråding Luftfart nr. 2024/04T

Under en flygning i Bergen den 26. august 2022 med en DJI Mavic 3 drone fra produsenten DJI, mistet dronepiloten kontroll over dronen. Det har ikke lyktes Havarikommisjonen å finne en entydig forklaring på hvorfor tap av kontroll oppstod. Havarikommisjonen har gjentatte ganger vært i kontakt med produsenten DJI med forespørsel om teknisk bistand til undersøkelsen. DJI har ikke imøtekommet Havarikommisjonens henvendelser, og de oppfyller dermed ikke kravene satt i luftfartsloven § 12-6 jf. undersøkelsesforordningen artikkel 11 2 g) eller i ICAO konvensjonen Annex 13 kapittel 5 punkt 5.6. Både den engelske havarikommisjonen AAIB og den nederlandske havarikommisjonen har tidligere fremmet tilrådingar angående mangelfull bistand direkte til produsenten DJI, men uten at noe har skjedd.

Statens havarikommisjon tilrår EU-kommisjonen å implementere lovgivning der alle produsenter av ubemannede flysystemer kan nektes tilgang til europeisk luftrom for ikke å støtte sikkerhetsundersøkelser uavhengig av kategorien der det ubemannede flysystemet ble operert.

Sikkerhetstilråding Luftfart nr. 2024/05T

Under en flygning i Bergen den 26. august 2022 med en DJI Mavic 3 drone fra produsenten DJI, mistet dronepiloten kontroll over dronen. Det har ikke lyktes Havarikommisjonen å finne en entydig forklaring på hvorfor tap av kontroll oppstod, men finner det sannsynlig at det er relatert til en svakhet i dronen som oppstår i overgangen fra *ATTI mode* til *tripod mode* med lavt GPS-nivå. På grunn av mangelfull teknisk støtte fra DJI har ikke Havarikommisjonen, hverken ved denne undersøkelsen eller ved en tidligere undersøkelse, hatt mulighet for å etterprøve dette. Dermed er det ukjent om dronen til enhver tid kan kontrolleres slik at den ikke utgjør en fare for personer eller annen luftfart. Gitt manglende teknisk støtte er det videre ikke mulig å vite om dette er en iboende fare for alle droner produsert av DJI.

Statens havarikommisjon tilrår at EU-kommisjonen gir en myndighet mandat til å gjennomføre en teknisk gjennomgang av DJIs ubemannede flysystemer der DJI presenterer dokumentasjon på at systemene opprettholder den forventede luftfartssikkerhetsstandard.

¹¹ Samferdselsdepartementet besørger at sikkerhetstilrådingar blir forelagt luftfartsmyndigheten og/eller andre berørte departementer til vurdering og oppfølging, jf. forskrift om offentlige undersøkelser av luftfartsulykker og luftfartshendelser innen sivil luftfart § 8.

Sikkerhetstilråding Luftfart nr. 2024/06T

Under en flygning i Bergen den 26. august 2022 med en DJI Mavic 3 drone fra produsenten DJI mistet dronepiloten kontroll over dronen. Det har ikke lykket Havarikommisjonen å finne en entydig forklaring på hvorfor tap av kontroll oppstod, men finner det sannsynlig at det er relatert til en svakhet i dronen i overgangen ut av *ATTI mode* med lavt GPS-nivå. Brukere av DJI Mavic 3 i norsk luftrom bør opplyses om denne svakheten slik at de kan unngå å komme i en situasjon der de mister kontroll.

Statens havarikommisjon tilrår at Luftfartstilsynet opplyser brukere av DJI Mavic 3 drone som opereres i norsk luftrom om svakheten der dronen kan komme ut av kontroll etter overgang fra *ATTI mode*.

Statens havarikommisjon
Lillestrøm, 14. mai 2024

Forkortelser

Forkortelser

ATTI	Attitude mode, Manuell flygning der dronen ikke benytter GPS eller optiske sensorer som gjør at dronen er påvirkelig fra miljøfaktorer som vind
DJI Fly	Applikasjon for å styre dronen
ENBR	Bergen lufthavn Flesland
GPS	Global Position System
MPH	Miles Per Hour (tilsvarende 1,609 km/t eller 0,45 m/s)
OM	Operasjonmanual
P-GPS	Position GPS
RTH	Return to home
SHK	Statens havarikommisjon
UTC	Coordinated universal time

Vedlegg

Vedlegg A Flightrecord datafelter

Havarikommisjonen har innhentet beskrivelse av et utvalg av datafelter fra utvikleren av Flight Reader.

OSD.flyTime [s] The accumulated flight time (in seconds) since the aircraft's motors were turned on.

OSD.latitude The aircraft's current angular distance north or south of the equator, measured in degrees, minutes, and seconds.

OSD.longitude The aircraft's current angular distance east or west of the Prime Meridian, an imaginary line passing through the Royal Observatory in Greenwich, England and running from the North Pole to the South Pole.

OSD.height [ft] The aircraft's current height (in feet) above the takeoff location.

OSD.vpsHeight [ft] The distance (in feet) between the aircraft's current location and the closest obstacle beneath it. This value is only available when the downward sensors are enabled and within range of a nearby obstacle.

OSD.altitude [ft] The aircraft's current distance above sea level (in feet).

OSD.mileage [ft] The total distance (in feet) the aircraft traveled over the entire flight.

OSD.hSpeed [MPH] The current speed (in MPH) at which the aircraft is moving parallel to the Earth's surface.

OSD.xSpeed [MPH] Current aircraft speed (in MPH) in the x direction using the North-East-Down (NED) coordinate system.

OSD.ySpeed [MPH] Current aircraft speed (in MPH) in the y direction using the North-East-Down (NED) coordinate system.

OSD.zSpeed [MPH] Current aircraft speed (in MPH) in the z direction using the North-East-Down (NED) coordinate system.

OSD.pitch The rotation of the aircraft (between -180 to 180 degrees) about the transverse axis. During a pitch, the front of the aircraft moves up or down, while the rear moves in the opposite direction.

OSD.roll The rotation of the aircraft (between -180 to 180 degrees) about the longitudinal axis. During a roll, one side of the aircraft rises while the other side lowers.

OSD.yaw The rotation of the aircraft (between -180 to 180 degrees) about the vertical axis. During a yaw, the front of the aircraft moves to the left or right, while the rear moves in the opposite direction.

OSD.yaw [360] The rotation of the aircraft (between -0 to 360 degrees) about the vertical axis. During a yaw, the front of the aircraft moves to the left or right, while the rear moves in the opposite direction.

OSD.flycState The current aircraft state or flight mode.

OSD.gpsNum The number of GPS satellites the aircraft is currently connected to.

OSD.isGPSUsed When true, the aircraft is able to use the GPS satellite data for positioning purposes.

OSD.isCompassError The aircraft's compass is in an error state and needs to be calibrated or moved away from nearby interference.

OSD.isVisionUsed When true, GPS data is unavailable and the downward sensors are being used to stabilize the aircraft.

GIMBAL.yaw The rotation of the gimbal (between -180 to 180 degrees) about the vertical axis. During a yaw, the front of the gimbal moves to the left or right, while the rear moves in the opposite direction.

GIMBAL.yaw [360] The rotation of the gimbal (between 0 to 360 degrees) about the vertical axis. During a yaw, the front of the gimbal moves to the left or right, while the rear moves in the opposite direction.

RC.downlinkSignal The signal quality (from 0 to 100%) for video and other data transferred from the aircraft to the remote controller.

RC.uplinkSignal The signal quality (from 0 to 100%) for control information and other data transferred from the remote controller to the aircraft.

RC.aileron The current remote controller stick position (between 364 to 1684) responsible for moving the aircraft left or right. When set to 1024, the remote controller stick is in the default center position.

RC.elevator The current remote controller stick position (between 364 to 1684) responsible for moving the aircraft forward or backward. When set to 1024, the remote controller stick is in the default center position.

RC.throttle The current remote controller stick position (between 364 to 1684) responsible for moving the aircraft up or down. When set to 1024, the remote controller stick is in the default center position.

RC.rudder The current remote controller stick position (between 364 to 1684) responsible for turning the aircraft to the left or right. When set to 1024, the remote controller stick is in the default center position.

BATTERY.current [A] The flow of electrical charge (in amperes) from the aircraft battery to its motors and other electronic components.

Vedlegg B Flightrecord data

Første datapunkt i *Tripod mode* ble registrert med tiden 47,9 sekund og siste datapunkt etter 53,3 sekunder. Tabellene under viser data for GPS, kompass, stikkebevegelser og hastighet.

GPS

Tabell 11: Verdier for GPS i Tripodmode. Kilde: TV 2 / SHK

Data	Start [s]	Slutt [s]	Utvikling	Min verdi	Maks verdi
OSD.gpsNum	47,7	53,7	Variierende	9	11
OSD.isGPSUsed	47,7	48,5	Stabil	False	
	48,7	53,7	Stabil	True	
OSD.isVisionUsed	47,7	53,7	Stabil	False	
OSD.gpsLevel	47,7	48,9	Stabil	0	0
OSD.gpsLevel	49,1	53,7	Stabil	2	2

Kompass

Tabell 12: Verdier for kompass i Tripodmode. Kilde: TV 2 / SHK

Data	Start [s]	Slutt [s]	Utvikling	Min verdi	Maks verdi
OSD.yaw	47,9	53,7	Variierende	84,3°	91°
GIMBAL.yaw	47,9	53,7	Variierende	334,2°	334,4°
GIMBAL.mode	47,9	53,7	Stabil	Follow yaw	

Stikkebevegelser

Tabell 13: Verdier for stikkebevegelser i Tripodmode. Kilde: TV 2 / SHK

Data	Start [s]	Slutt [s]	Utvikling	Min verdi	Maks verdi
RC.aileron	47,9	48,1	Variierende	1522	1545
	48,3	52,9	Stabil	1024	
	53,1	53,1	Punkt	990	
	53,3	53,7	Stabil	1024	
RC.elevator	47,9	48,7	Stabil	1024	
	48,9	50,3	Synkende	1684	
	50,5	51,1	Stabil	1024	
	51,3	51,9	Stabil	364	
	52,1	53,7	Stabil	1024	
RC.throttle	47,9	49,9	Stabil	1024	
	50,1	50,5	Stabil	1684	
	50,7	51,5	Stabil	364	
	51,7	53,7	Variierende	773	1024
RC.rudder	47,9	49,9	Stabil	1024	
	50,1	50,1	Punkt	1081	
	50,3	51,1	Stabil	1024	
	51,3	51,3	Punkt	950	
	51,5	51,5	Punkt	949	
	51,7	53,7	Stabil	1024	

Hastighet

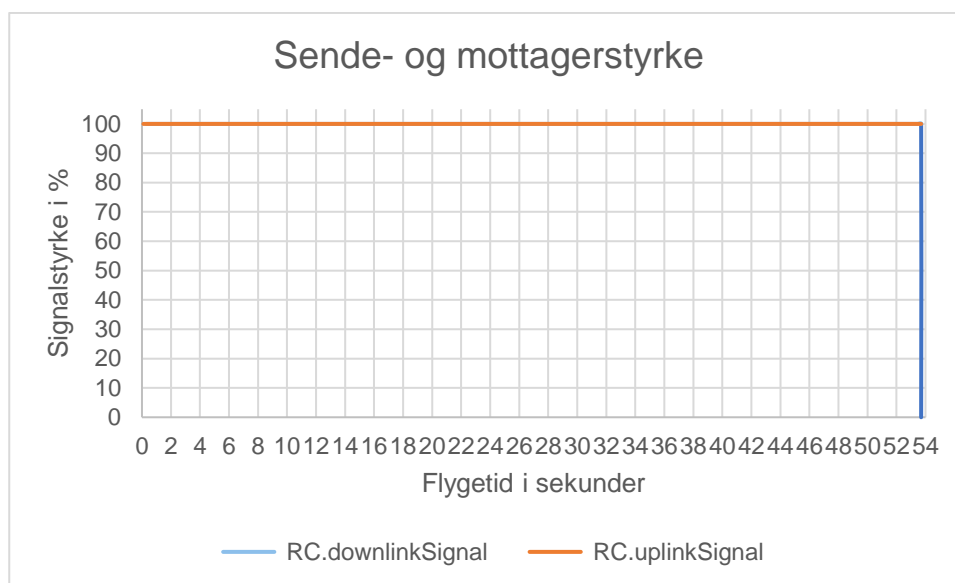
Tabell 14: Verdier for hastighet i Tripodmode. Kilde: TV 2 / SHK

Data	Start [s]	Slutt [s]	Utvikling	Min verdi [MPH]	Maks verdi [MPH]
OSD.xSpeed[MPH]	47,9	49,5	Variierende	0,9	1,8
	49,7	53,7	Stigende	2	18,6
OSD.ySpeed[MPH]	47,9	48,5	Variierende	2,9	1,3
	48,7	53,7	Stigende	1,8	37,1
OSD.zSpeed[MPH]	47,9	50,1	Stabil	0	
	50,3	53,7	Variierende	-1,8	4,5

Vedlegg C Grafisk fremstilling av verdier fra flygeloggen

Sende- og mottagerstyrke

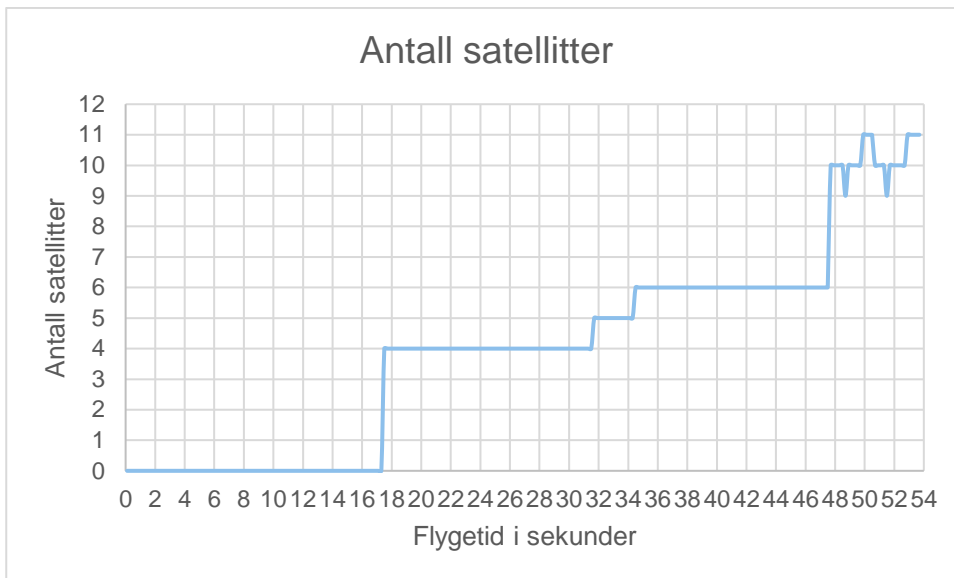
I flygeloggen var det registrert verdier for *RC uplink* og *RC downlink*. Dette var verdier som fortalte om dronen kunne motta data fra fjernkontrollen (uplink) og om den kunne sende data til fjernkontrollen (downlink). En graf som viser sende- og mottagerstyrke som funksjon av tidslinjen vises i figur 14. Grafen viser at *RC uplink* har verdien 100 fra første datapunkt etter 0,1 sekund og helt frem til siste datapunkt etter 53,7 sekunder. *RC downlink* viser 100 ved sitt første datapunkt etter 0,3 sekunder og helt frem til 53,7 sekunder. De siste fire datapunktene med tidspunkt 53,7 viser en verdi på 0.



Figur 14: Sende- og mottagerstyrke. Y-aksen viser signalstyrke i prosent og X-aksen viser tidslinjen. Kilde: TV 2 / SHK

GPS mottagelse

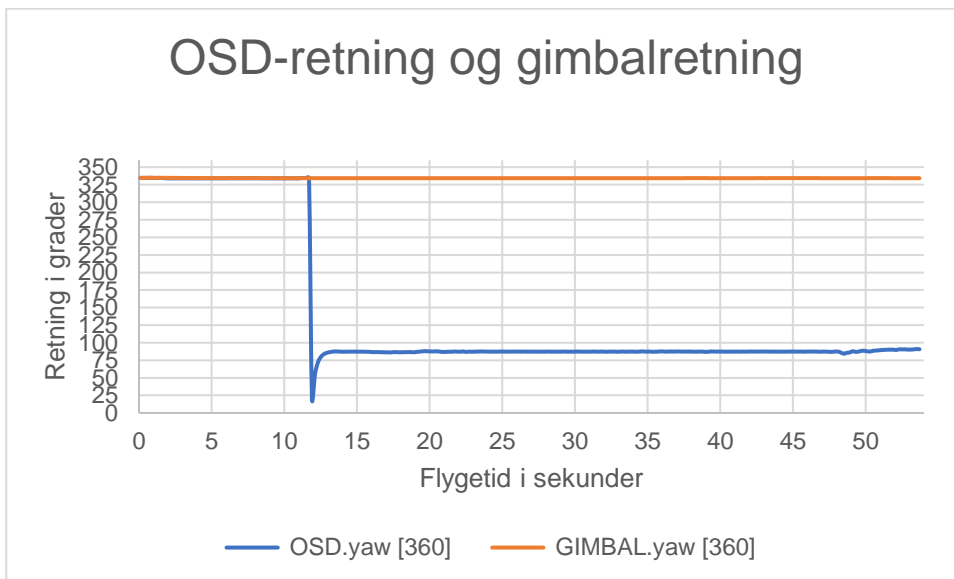
Hvor mange satellitter dronen registrerte ble lagret i loggen og vises i figur 15.



Figur 15: Antall registrerte satellitter. Y-aksen viser antall satellitter mens X-aksen viser tidslinjen. Kilde: TV 2 / SHK

Retningsvinkel i vertikalaksen

Dronen registrerte hvilken kompassretning den pekte i til enhver tid. Dette ble registrert i flygeloggen som *OSD.yaw*. Dronens kameraakse registrerte også sin kompassretning i flygeloggen ved *GIMBAL.yaw*. Verdiene for *OSD.yaw* og *GIMBAL.yaw* vises grafisk i figur 16. *GIMBAL.yaw* har fra 0,1 sekunder til 53,7 sekunder verdier mellom 334,2° og 334,8°.



Figur 16: Verdier for *OSD.yaw* og *GIMBAL.yaw*. Y-aksen viser grader mens X-aksen er tidslinjen. Kilde: TV 2 / SHK

OSD.yaw hadde i tidsrommet mellom 0,1 sekund og 11,7 sekunder verdier mellom 334° og 334,8°. Etter 11,9 sekunder endret verdien seg til 20,1° og denne verdien økte i de etterfølgende datapunktene til den nådde en verdi mellom 86,2° og 88° etter 13 sekunder. I tidsperioden mellom 13 sekunder og 53,7 sekunder var verdien mellom 84,3° og 91°.

Advarsler

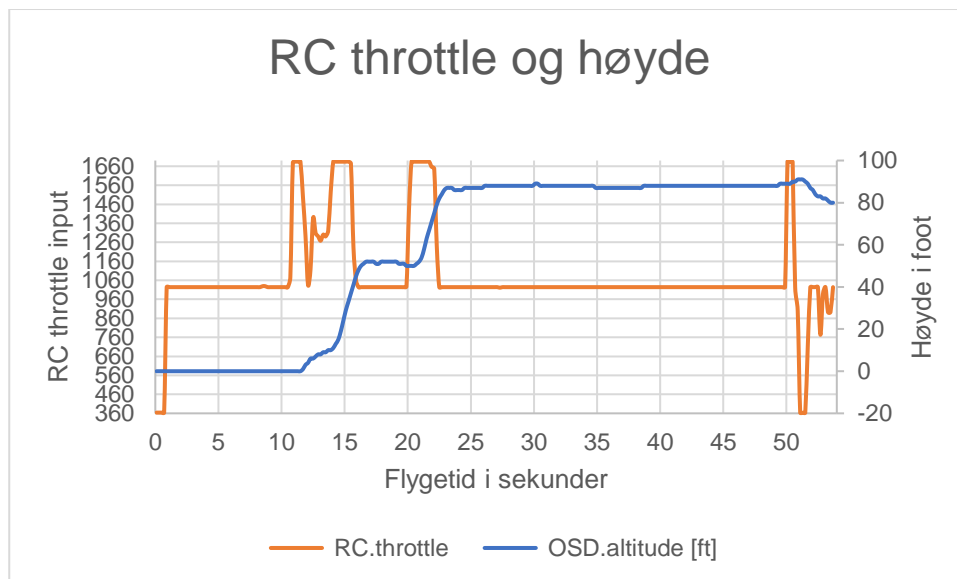
Under flygningen ble det gitt advarsler til piloten på fjernkontrollens skjerm. De registrerte advarslene og den tiden de ble registrert vises i tabell 15.

Tabell 15: Advarsler vist på skjermen. Kilde: TV 2 / SHK

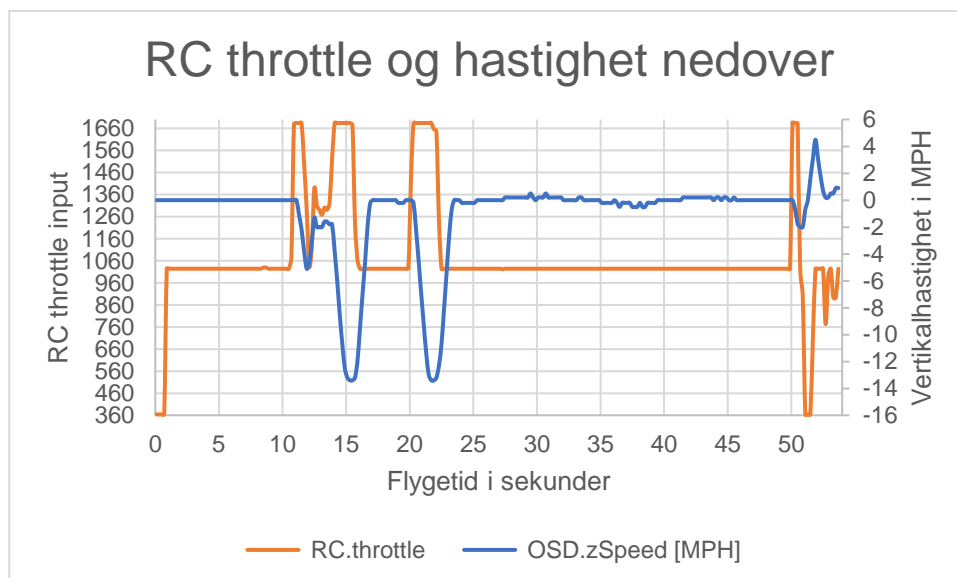
Tidspunkt	Advarsel tekst
0 m 0,1 s	GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30 m (Code: 30014).; Check whether the propellers are attached to the correct motors based on their markings. Incorrect installation will cause the aircraft to roll over during takeoff (Code: 30251).
0 m 1,1 s	GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30 m (Code: 30014).
0 m 22,5 s	Aircraft in Attitude mode. Unable to hover. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30 m (Code: 30016).; Attitude mode (Max altitude 30 m).; GPS signal weak. Switched to Attitude mode. Aircraft unable to hover. Fly with caution.
0 m 22,7 s	Compass or GPS signal weak. Changed to Attitude mode.; Aircraft in Attitude mode. Unable to hover. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30 m (Code: 30016).
0 m 47,9 s	GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30 m (Code: 30014).
0 m 50,5 s	GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30 m (Code: 30014).; GPS signal weak (Max altitude 30 m).
0 m 53,7 s	Image transmission signal lost (Code: 80001).; GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30 m (Code: 30014).; No image transmission signal.
0 m 53,7 s	Image transmission signal lost (Code: 80001).; GPS signal weak. Fly with caution. Aircraft in Altitude Zone. Max altitude set to 30 m (Code: 30014).; Aircraft not connected to RC.
0 m 53,7 s	Image transmission signal lost (Code: 80001).
0 m 53,7 s	Aircraft not connected to RC.

RC throttle

Ved å bevege fjernkontrollens venstre styrespak oppover eller nedover ble det gitt en kommando til dronen om å enten stige eller synke i høyde. Denne styrespaken ble i flyggelaggen benevnt som *RC throttle*. Input fra *RC throttle* kan sammenlignes med dronens høyde, vist i figur 17, og dronens vertikalhastighet, vist i figur 18.



Figur 17: Påtrykt høydekommando og dronens høyde. Kilde: TV 2 / SHK

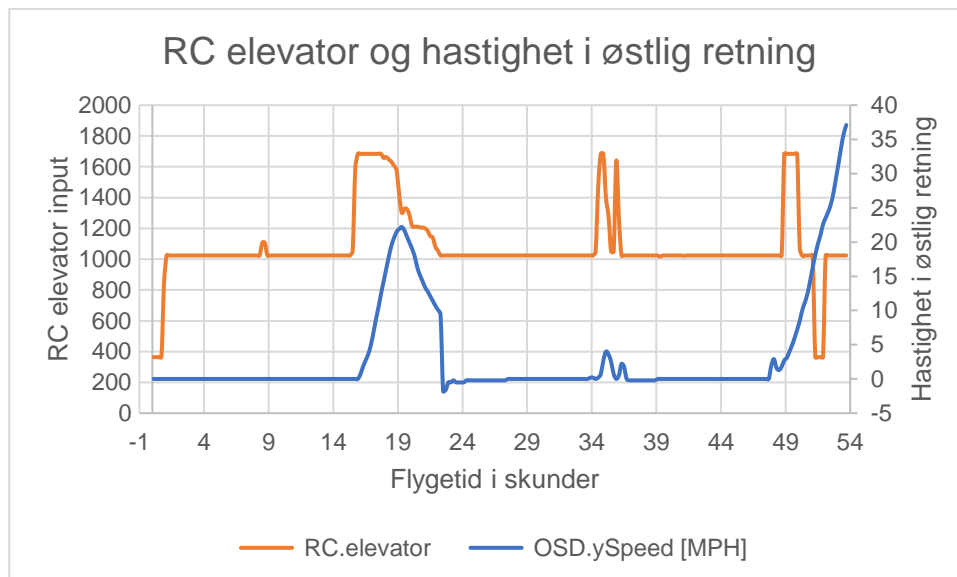


Figur 18: Påtrykt høydekommando og dronens hastighet i Z-aksen. Kilde: TV 2 / SHK

Styrespakens verdier vises også i figur 18 på venstre side av grafen. En verdi på 1024 indikerer at styrespaken er i midtstilling, verdier mellom 364 og 1023 indikerer at styrespaken er beveget bakover (dronen synker) og verdier mellom 1025 og 1684 indikerer at styrespaken er beveget fremover (dronen stiger). Dronens vertikalhastighet vises på høyre side av grafen der negativ hastighet indikerer klatring mens positiv verdi indikerer synking. Merk at hastigheten vises slik den kommer fra flyggelaggen, i miles per hour (MPH).

RC elevator

Ved å bevege fjernkontrollens høyre styrespak fremover eller bakover ble det gitt en kommando til dronen om å enten fly fremover eller bakover. Denne styrespaken ble i flygeloggen benevnt som *RC elevator*. Input fra *RC elevator* kan sammenlignes med dronens hastighet i lengderetningen. En verdi på 1024 indikerer at styrespaken er i midtstilling, verdier mellom 364 og 1023 indikerer at styrespaken er beveget bakover (dronen flyr bakover) og verdier mellom 1025 og 1684 indikerer at styrespaken er beveget fremover (dronen flyr fremover).

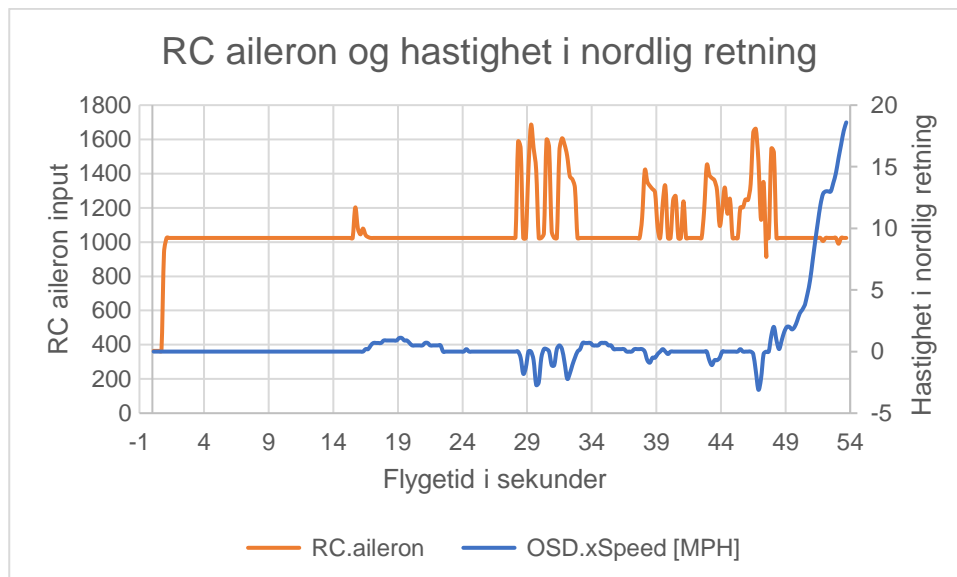


Figur 19: Påtrykt kommando og dronens hastighet i tverraksen. Kilde: TV 2 / SHK

Styrespakens verdier vises i figur 19 på venstre side av grafen mens dronens hastighetskomponent i østlig retning (fremover og bakover sett fra dronen) vises i skalaen på høyre siden av grafen. Merk at hastigheten vises slik den kommer fra flygeloggen, i Miles Per Hour (MPH).

RC aileron

Ved å bevege fjernkontrollens høyre styrespak til venstre eller høyre ble det gitt en kommando til dronen om å enten fly til venstre eller høyre. Denne styrespaken ble i flygeloggen benevnt som *RC aileron*. Input fra *RC aileron* kunne sammenlignes med dronens hastighet sideveis. En verdi på 1024 indikerer at styrespaken er i midtstilling, verdier mellom 1023 og 364 indikerer styrespaken er beveget til høyre (dronen flyr til høyre) og verdier mellom 1025 og 1684 indikerer at styrespaken er beveget til venstre (dronen flyr til venstre).



Figur 20: Påtrykt kommando og dronens hastighet i lengdeaksen. Kilde: TV 2 / SHK

Styrespakens verdier vises i figur 20 på venstre side av grafen mens dronens hastighetskomponent i nordlig retning (til venstre og høyre sett fra dronen) vises i skalaen på høyre siden av grafen. Merk at hastigheten vises slik den kommer fra flygeloggen, i Miles Per Hour (MPH).